

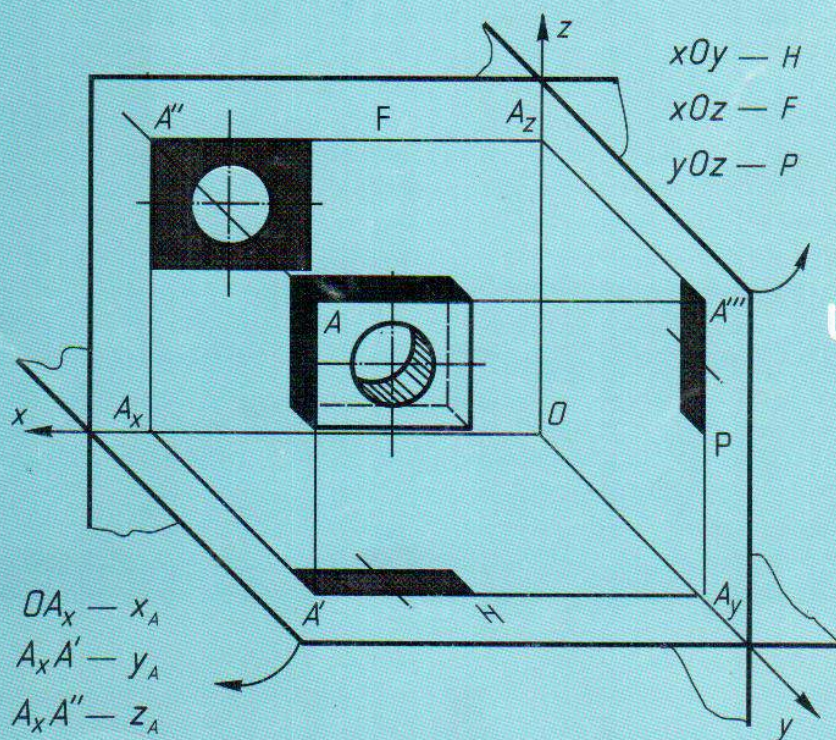


Учебно-
Методический
Комплекс



ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Основы проекционного комплексного
чертежа



Часть 1

Минск
2009

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Л.С. Шабека, О.В. Мулярова,
Г.А. Галенюк, Н.В. Зеленовская**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших
учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области
сельского хозяйства в качестве учебно-методического комплекса
для студентов высших учебных заведений группы специальностей
74 06 – Агроинженерия*

В трех частях

Часть 1

Основы проекционного комплексного чертёжа

Под редакцией профессора Л.С. Шабека

Минск 2009

канд. техн. наук, зав. кафедрой «Инженерная графика» БГТУ
доцент *Н.И. Жарков*

И 62 **Инженерная графика: учебно-метод. комплекс. В 3 ч. Часть 1.**
Основы проекционного комплексного чертёжа / Л.С. Шабека [и др.];
под ред. Л.С. Шабека. – Минск: БГАТУ, 2009. – 168 с.

ISBN 978-985-519-069-2

ISBN 978-985-519-070-8 (Ч.1).

Представленный учебно-методический комплекс предназначен для изучения курса инженерной графики студентами технических специальностей. Материал сгруппирован в четыре модуля: «Образование обратимых проекционных изображений», «Геометрические тела», «Пересечение поверхностей», «Изображения на чертежах». Каждый модуль содержит теоретический материал, упражнения для практических занятий, контрольные вопросы, варианты условий для индивидуальных графических работ, методические указания по их выполнению. В приложениях приводятся общие правила оформления чертежей по ГОСТ ЕСКД, упражнения на развитие навыков их применения.

УДК 744:62]:514.18(07)
ББК 22.151.3я

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Введение	7

МОДУЛЬ 1

ОБРАЗОВАНИЕ ОБРАТИМЫХ ПРОЕКЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1.1. Комплексная цель	9
1.2. Рисунок как прототип технического чертежа. Методы проецирования	10
1.3. Образование аксонометрических проекций	14
1.4. Прямоугольная изометрия	16
1.5. Фронтальная косоугольная диметрия	18
1.6. Упражнения на построение аксонометрических проекций	21
1.7. Образование проекционного комплексного чертежа	24
1.8. Представление прямых линий на ПКЧ	28
1.9. Контрольные вопросы	30
1.10. Упражнения на построение проекционного комплексного чертежа	31
1.11. Методические указания по выполнению индивидуальных графических работ (ИГР)	33
1.12. Варианты условий индивидуальных графических работ	35

МОДУЛЬ 2

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕЛА

2.1. Комплексная цель	51
2.2. Взаимное расположение прямых на ПКЧ	52
2.3. Теорема о проецировании прямого угла	52
2.4. Задание плоскости на ПКЧ	52
2.5. Плоскости уровня	56
2.6. Проецирующие плоскости	56
2.7. Пересечение прямой и плоскости (<i>частные случаи</i>)	56
2.8. Пересечение двух плоскостей (<i>частные случаи</i>)	58
2.9. Параллельные плоскости	58
2.10. Многогранные конфигурации	58
2.11. Образование поверхностей	62
2.12. Тела вращения	64
2.13. Принцип построения проекций точек на комплексном чертеже, принадлежащих поверхностям геометрических тел	70
2.14. Контрольные вопросы	70
2.15. Упражнения	73
2.16. Методические указания по выполнению ИГР	74

МОДУЛЬ 3 ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

3.1. Комплексная цель	
3.2. Пересечение поверхностей:	
3.2.1. Характер линии пересечения поверхностей в зависимости от их вида и взаимного расположения (четыре общих случая)	
3.2.2. Метод посредников – общий метод построения линии пересечения поверхностей	
3.2.3. Метод вспомогательных секущих плоскостей	
3.2.4. Пересечение соосных поверхностей вращения	
3.2.5. Способ концентрических сфер	
3.2.6. Теорема Г. Монжа	
3.2.7. Пересечение проецирующих поверхностей	
3.2.8. Способ эксцентрических сфер	
3.2.9. Пересечение проецирующей поверхности с непроекцирующей	
3.3. Контрольные вопросы	
3.4. Упражнения	
3.5. Методические указания по выполнению ИГР	
3.6. Варианты условий индивидуальных графических работ	

МОДУЛЬ 4 ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ

4.1. Комплексная цель	
4.2. Виды (ГОСТ 2.305 – 68)	
4.3. Разрезы (ГОСТ 2.305 – 68)	
4.4. Сечения (ГОСТ 2.305 – 68)	
4.5. Упражнения на построение изображений на чертежах	
4.6. Контрольные вопросы	
4.7. Методические указания по выполнению ИГР	
4.8. Варианты условий индивидуальных графических работ	
4.9. Ответы на пространственное представление формы комбинированных геометрических фигур	
Приложение 1. Принятые обозначения	
Приложение 2. Чертежные принадлежности и инструменты. Общие рекомендации по выполнению чертежей	1
Приложение 3. Основные правила оформления чертежей по ГОСТ	
Приложение 4. Некоторые геометрические построения	
Приложение 5. Построение 4-х центровых овалов	1
Приложение 6. Упражнения на построение сопряжений	1
Приложение 7. Контрольные вопросы по общим правилам оформления чертежей	
Литература	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебно-методический комплекс (УМК) предназначен для студентов технических вузов изучающих курс инженерной графики.

Учебный материал сгруппирован в четыре модуля, которые включают теоретический материал, упражнения для практических занятий, контрольные вопросы, варианты условий к индивидуальным графическим работам и методические рекомендации по их выполнению. В приложении представлены требования к оформлению графических работ в соответствии с ГОСТами ЕСКД, упражнения на развитие навыков их применения.

В первом модуле *«Образование обратимых проекционных изображений»* изучаются методы проецирования, свойства параллельных проекций, аксонометрические проекции (прямоугольная изометрия и косоугольная фронтальная диметрия), образование проекционного комплексного чертежа на примере изображения точек и прямых. Индивидуальные задания включают построение призмы, пирамиды, цилиндра, конуса, шара и тора на ПКЧ и в аксонометрии (1-й этап).

Во втором модуле *«Геометрические тела»* рассматриваются изображения прямых и плоскостей изолировано и во взаимном расположении, когда одна или две геометрические фигуры занимают проецирующее положение, что позволяет закономерно выйти на представление многогранников на проекционном комплексном чертеже. Затем изучаются поверхности вращения и их сечения проецирующими плоскостями. Индивидуальные графические работы требуют построения трех проекций геометрических тел: призмы, пирамиды, цилиндра, конуса, шара и тора, содержащих плоские сечения (2-й этап).

Третий модуль *«Пересечение поверхностей»* посвящен изучению построения линий пересечения поверхностей на комплексном чертеже на базе общего метода посредников. Изучаются случаи пересечения поверхностей, когда одна или две из них занимают проецирующее положение, что находит широкое применение в изображении подавляющего большинства технических форм. В индивидуальных графических работах решаются две задачи на применение способов вспомогательных секущих плоскостей и сфер на двухпроекционном комплексном чертеже.

Четвертый модуль *«Изображения на чертежах»* направлен на развитие умения построения видов, простых и сложных разрезов, сечений на комплексных чертежах. Индивидуальные графические работы требуют построения трех проекций детали, содержащей линии пересечения поверхностей, выполнения разрезов.

Интегрированное изучение построения линий пересечения поверхностей и разрезов, позволяет лучшим образом уяснить форму изображаемого предмета и легко перейти к построению линии пересечения поверхностей в отверстиях, активно развивает пространственное представление, комплексно закреплять ранее изученный материал, в конечном счете, создает базу для дальнейшего изучения машиностроительной графики.

Материал, относящийся к общим правилам оформления чертежей по ГОСТ ЕСКД, приводится в приложении и включает общие рекомендации по оформлению чертежей, упражнения на их закрепление.

Метрические и конструктивные задачи будут представлены во второй части учебно-методического комплекса в последующем издании.

Отличительными особенностями предлагаемой методики является:

- модульное построение курса;
- представление геометро-графического моделирования как цели и средства графической подготовки инженера;
- изучение проекционного комплексного чертежа согласуется с применением аналитической геометрии;
- широкое применение математической символики в сочетании с лаконичным текстовым сопровождением;
- оптимальное и удобное соотношение рисунков и текстовой части (текст – слева, рисунок – справа);
- сопровождение содержания рисунков надписями;
- эффективное применение математической символики и системы обозначений;
- интеграции элементов начертательной геометрии с проекционным черчением по ГОСТ ЕСКД;
- электронное представление материалов УМК.

Оценка результатов учебной деятельности по каждому модулю осуществляется по 10-бальной шкале. При этом учитывается правильность выполнения индивидуальных заданий, владение соответствующим теоретическим материалом, качество графического оформления работы, сроки защиты индивидуальных заданий. Студент, получивший по результатам сдачи каждого модуля 7 и выше баллов, по желанию может быть освобожден от экзамена. Для получения 10 баллов студент должен проявить умение решать задачи на комплексное применение теоретического материала, а также иметь положительные результаты в научной или исследовательской работе.

УМК создан на базе учебных и методических разработок профессора Л.С. Шабека, апробированных многолетней практикой в различных высших технических учебных заведениях [4–11].

Шабека Л.С. осуществил разработку и общую редакцию УМК.

В разработке также участвовали: О.В. Мулярова – п.п 1.7, 3.21, 4.9; Г.А. Галенюк – п.п 4.2, 4.4, 4.8 (задача 1), приложение 2,6 (упражнение 1); Н.В. Зеленовская – п. 1.12, приложения 4,5.

Перевод чертежей и текста в электронный формат выполнили: О.В. Мулярова – модуль 1-3; Г.А. Галенюк – модуль 4, приложения; Н.В. Зеленовская – модуль 1 (п. 1.12), модуль 3 (п. 3.6).

ВВЕДЕНИЕ

Инженерная графика: наука и дисциплина

Инженерная графика как учебная дисциплина возникла на стыке начертательной геометрии, технического черчения и компьютерной графики. Поэтому весьма важно правильно определить ее учебные задачи, которые вытекают как из предмета науки, так и вклада в формирование компетенций будущего специалиста.

Предметом *инженерной графики* как науки является изучение методов геометро-графического моделирования технических объектов и на их основе получения чертежей изделий.

Под *моделированием* в широком смысле понимается метод исследования объектов и сам процесс построения и изучения моделей как реально существующих объектов, так и проектируемых. При этом модель и объект моделирования должны находиться в некотором отношении подобия.

Геометро-графическая модель – это графически визуализируемое геометрическое описание формы, положения и размеров объекта моделирования. Различают модели изделия (рисунок 1): *каркасные – а, поверхностные – б, твердотельные – в.*

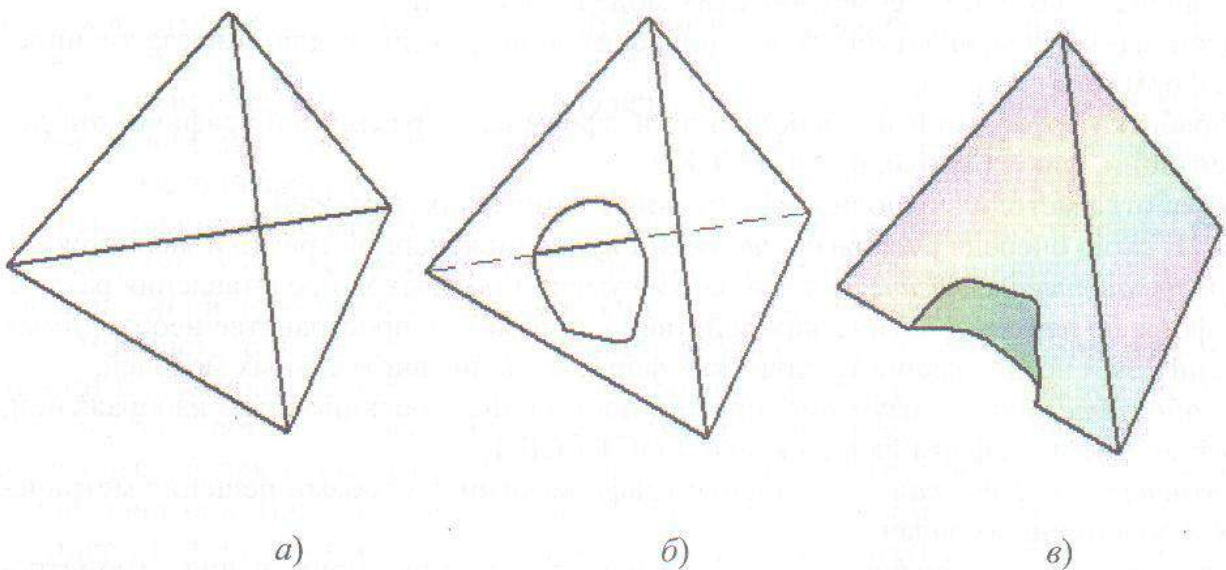


Рисунок 1 – Различные типы геометро-графических моделей

Модель может быть представлена на материальном носителе информации и в электронной форме. Традиционно геометро-графическая модель в машиностроении представляется на бумажном носителе в виде проекционного комплексного чертежа или в аксонометрии. Процесс создания модели и ее визуализация с применением компьютера находятся в непосредственной взаимосвязи и опираются на знания начертательной геометрии, требует высокого уровня умственной аналитико-синтетической деятельности. При этом создание трехмерной модели основывается на решении различных позиционных и метрических задач на базе проекционных изображений. Трехмерное компьютерное моделирование существенно меняет технологию проектно-конструкторской деятельности и обладает рядом преимуществ:

- повышает точность графических построений, которая соответствует аналитически заданной;
- упрощает решение большинства задач, особенно связанных с определением натуральных величин расстояний, углов, сечений и т. п.;
- отпадает необходимость построения линии пересечения поверхностей, они получаются автоматически и абсолютно точными;
- трехмерная модель легко трансформируется в двумерный чертеж или наглядную аксонометрическую проекцию с удалением невидимых линий, раскрашиванием поверхностей, подсветкой, что позволяет создать фотореалистические изображения будущего изделия;
- появляется возможность моделировать не только твердые объекты, но и динамические процессы;
- однажды созданная в памяти компьютера модель может многократно, с различной степенью детализации, использоваться на всех ступенях конструкторско-технологического проектирования, вплоть до изготовления и эксплуатации изделия, а также в рекламных целях, что может осуществляться уже на предпроектной стадии для анализа будущего спроса и отработки дизайна изделия.

Таким образом, *задачами инженерной графики как науки является:*

- изучение методов построения проекционных изображений пространственных объектов и решения с их помощью различных позиционных и метрических инженерных задач для создания геометрических моделей изделий;
- обоснование номенклатуры геометрических конструктивов для синтеза технических форм (баз данных);
- разработка требований на выполнение и оформление различной графической документации, фиксируемых в ГОСТ ЕСКД;
- разработка методик выполнения и чтения технических чертежей.

В свою очередь *учебными задачами курса* инженерной графики являются:

- 1) *пространственно-логическая* – развитие умений и навыков представления различных форм по чертежу, логических действий с образами в пространстве необходимых для синтеза и исследования технических форм, создание виртуальных моделей;
- 2) *изобразительная* – изучение правил построения проекционных изображений, пространственных форм на плоскости, ГОСТ ЕСКД;
- 3) *геометро-графическая* – овладение графическими способами решения метрических и позиционных задач;
- 4) *конструктивно-графическая* – развитие умений применения геометро-графических методов к решению различных задач, связанных с геометрическим конструированием, расчетом и анализом технологических процессов;
- 5) *личностно-развивающая* – развитие пространственного мышления, эстетического вкуса, зрительной памяти, глазомера и на этой основе координации движения руки, а в результате точности и аккуратности в работе.

МОДУЛЬ 1

ОБРАЗОВАНИЕ ОБРАТИМЫХ ПРОЕКЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1.1 Комплексная цель

Осмысление истоков возникновения технического чертежа, усвоение способов образования обратимых проекционных изображений и развитие умений построения аксонометрических проекций геометрических тел.

Для достижения цели модуля студент должен:

- знать** способы построения центральных и параллельных проекций, их свойства, условия образования аксонометрического и комплексного чертежа, расположение аксонометрических осей и значение показателей искажения, ориентацию большой оси эллипса, в которую проецируется диаметр окружности, расположенной в координатной плоскости или плоскости ей параллельной;
- уметь** строить:
 - аксонометрические проекции линий и плоских фигур по заданным координатам их точек и по комплексному чертежу;
 - ПКЧ призмы, пирамиды, цилиндра, конуса, шара и тора в прямоугольной изометрии и косоугольной фронтальной диметрии, выбирать наиболее рациональный вид аксонометрии.

Усвоение материала данного модуля имеет исключительное значение, так как студент начинает активно развивать пространственное представление, осмысливает форму геометрических тел, из которых в дальнейшем будут синтезироваться более сложные технические формы. Все это позволяет легко перейти к построению трехмерных компьютерных моделей, как эффективного средства самообучения при построении линий пересечения поверхностей геометрических тел.

Важность овладения теоретическими знаниями и умениями при изучении данного модуля определяется тем, что построение любого ПКЧ опирается на трехмерный образ детали, созданный в представлении человека на основе аналитико-синтетической деятельности и умения визуализировать этот образ на бумаге или экране монитора. Параллельно с изображением типовых геометрических тел: призмы, пирамиды, цилиндра, конуса, шара и тора, студенты изучают общие и отличительные признаки в их форме, что позволяет в дальнейшем более продуктивно строить их изображения как на ПКЧ, так и в аксонометрии. Последнее позволяет успешно осваивать построение трехмерных компьютерных моделей для получения чертежей, а так же для уточнения характера линии пересечения поверхностей, проводить геометрический анализ сложных технических форм.

Выполнив полный объем приведенных упражнений и индивидуальных заданий по данному модулю, студент выходит на определенный уровень развития пространственного мышления, обеспечивающий в дальнейшем успешное овладение ПКЧ, средствами наглядной визуализации результатов и этапов творческой деятельности.

1.2 Рисунок как прототип технического чертежа. Методы проецирования

Попытка зафиксировать обозреваемое, ранее увиденное или созданное в представлении человека, как способ передачи информации возникла в глубокой древности. Сохранившиеся до наших дней, наскальные рисунки относятся к 25–20 тыс. лет до н. э. Первая картина, как сказал Леонардо да Винчи (1452–1519), состояла из одной единственной линии, которая окружала тень человека, отброшенную солнцем на стену. Человек пытался изображать окружающие предметы как способ познания реальной действительности и осознания себя в ней.

По мере совершенствования художественного рисунка на нем легко угадывался изображенный объект по его контуру и распределению светотеней, воссоздавалась рельефность. Однако это достаточно трудоемкий процесс и требует от человека определенных способностей и соответствующей техники рисования.

Технический рисунок по отношению к художественному более прост и выполняется от руки в глазомерном масштабе, позволяет представить форму предмета, но не отражает действительных размеров, необходимых для его изготовления.

Основой предмета, с точки зрения его изображения, является поверхность, под которой понимается некоторое множество точек, которые могут отображаться на плоскости по определенному закону.

Восприятие рисунка, как и любого предмета, в сознании человека возникает на основе воздействия солнечных лучей, отражаемых от него и воспринимаемых глазом (рисунок 1.1). При отсутствии освещения (в темноте) человек не способен различать предметы. Солнечные лучи, отражаясь от предмета, проходя через хрусталик глаза, попадают на заднюю стенку – как на плоскость проекции около глазного нерва, в результате в сознании человека возникает образ увиденного предмета.

Таким образом, световые лучи (проецирующие прямые), исходящие от точек предмета, попадают в оптический центр глаза – точку S и образуют на его сетчатке перевернутое изображение отрезка AB . Однако в результате жизненного опыта и работы сознания, полученные зрительные образы предметов воспринимаются как правильные, не перевернутые. Поэтому процесс зрения в некоторой мере совпадает с операцией центрального проецирования* (рисунок 1.2), когда проецирующие лучи, по которым происходит отображение точек поверхности предмета, проходят все время через одну и ту же точку, называемую *центром проецирования* – S .

Рассмотрим некоторые свойства центрального проецирования.

Перемещение центра проецирования S относительно плоскости проекции α влияет на величину проекции. Перенос точки S от плоскости проекции в положение точки S_1 , приводит к увеличению проекции, а в положение точки S_2 – к уменьшению.

Изменение положения объекта проецирования, так же отражается на величине его проекции.

Обратим внимание на то, что перенос плоскости проекции, параллельной самой себе, отражается на величине проекции.

* От латинского слова *'projecere'* – бросать вперед

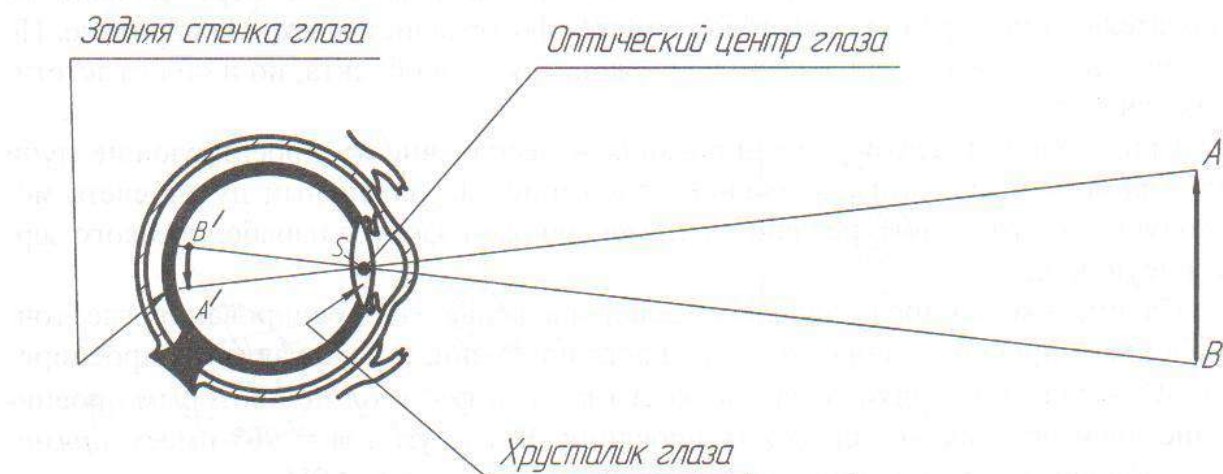
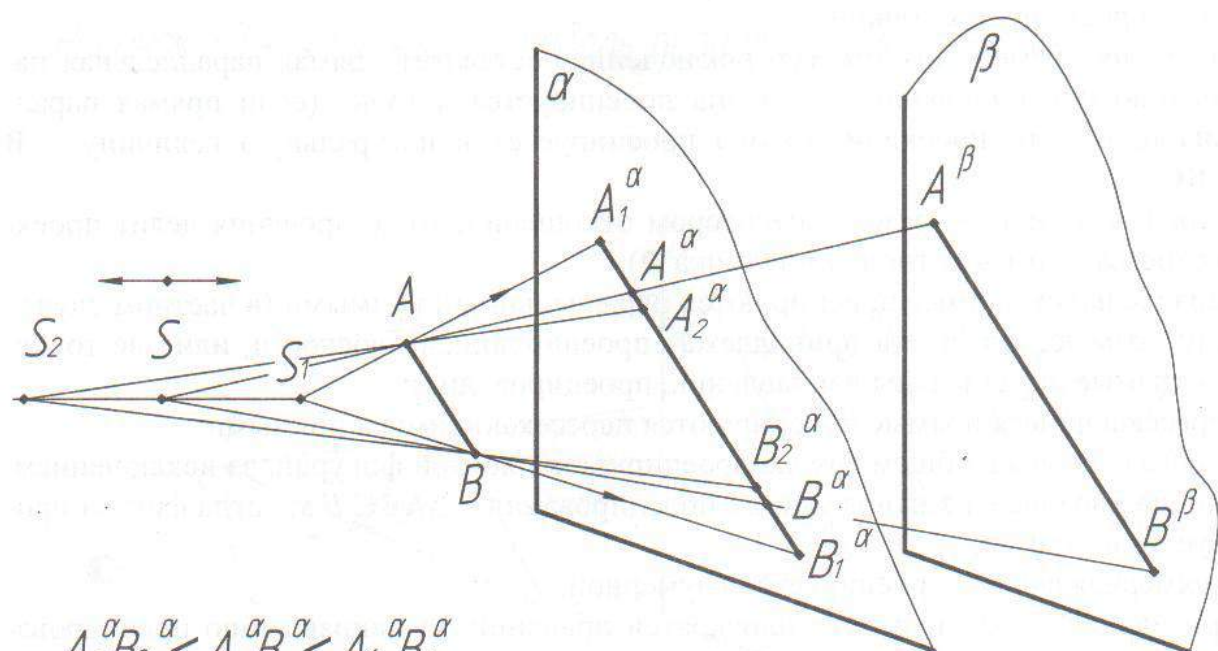


Рисунок 1.1 – Геометрическая модель зрения человека



$$A_2^\alpha B_2^\alpha < A^\alpha B^\alpha < A_1^\alpha B_1^\alpha$$

$$\beta \parallel \alpha \Rightarrow A^\beta B^\beta > A^\alpha B^\alpha$$

Рисунок 1.2 – Геометро-графическая модель центрального проецирования

На методе центрального проецирования базируется построение перспективных* изображений, на которых размеры объекта сокращаются по мере удаления от наблюдателя (точки зрения), чем и достигается фотореалистическое восприятие. По таким рисункам можно судить не только о конструкции объекта, но и об его эстетических качествах.

При удалении центра проецирования в бесконечность проецирующие лучи будут стремиться занять параллельное положение. Параллельный пучок света может получить от точечного источника, помещенного в фокусе параболического зеркала (рисунок 1.3).

На рисунке 1.4 представлена модель параллельного проецирования, где: точка A – объект проецирования, α – плоскость проекции, s – направление проецирования, A^α – проекция точки A на плоскости α , угол φ – угол под которым проецирующие лучи пересекают плоскость проекции. Когда угол $\varphi = 90^\circ$ имеем *прямоугольное (ортогональное)* проецирование, *косоугольное* – $\varphi < 90^\circ$.

Совокупность проецирующих лучей образуют проецирующую плоскость γ .

Точки A и B , расположенные на одном проецирующем луче, называются *конкурирующими*. На проекциях будет видимой та точка, которая расположена ближе к наблюдателю, то есть точка A (предполагается, что объект проецирования расположен между наблюдателем и плоскостью проекций). По конкурирующим точкам устанавливается относительная видимость фигур на проекциях.

Назовем *основные свойства параллельных проекций*:

- 1) точка проецируется точкой;
- 2) проекция прямой есть прямая, исключение составляет прямая параллельная направлению проецирования, когда она проецируется в точку (если прямая параллельна плоскости проекции, то она проецируется в натуральную величину – $B^{\alpha}C^{\alpha}=BC$);
- 3) если точка делит отрезок в некотором отношении, то ее проекция делит проекцию отрезка в том же отношении (точка D);
- 4) параллельные прямые проецируются параллельными прямыми (в частном случае в одну прямую, когда они принадлежат проецирующей плоскости, или две точки, когда прямые параллельны направлению проецирования);
- 5) пересекающиеся прямые проецируются пересекающимися прямыми;
- 6) плоская фигура в общем случае проецируется плоской фигурой, за исключением, когда она параллельна направлению проецирования – $\triangle ABC \parallel s$; тогда фигура проецируется в отрезок;
- 7) трехмерная фигура проецируется двумерной;
- 8) при параллельном переносе плоскостей проекций по направлению проецирования проекция фигуры по величине и форме не изменяется.

Доказательство этих свойств, предлагается сделать самостоятельно для более глубокого их осмысления.

Заметим, что одна проекция объекта не определяет его положения в пространстве. Например, по проекции B^α (рисунок 1.4) невозможно однозначно определить положение точки B в пространстве, так как проекции, расположенные на одном проецирующем луче, будут совпадать $A^\alpha=B^\alpha$. Однозначности можно достигнуть тогда, когда наряду с проекцией указать расстояние, на которое удалена точка от плоскости проекции по направлению проецирования.

* От латинского слова 'perspicere' – смотреть сквозь

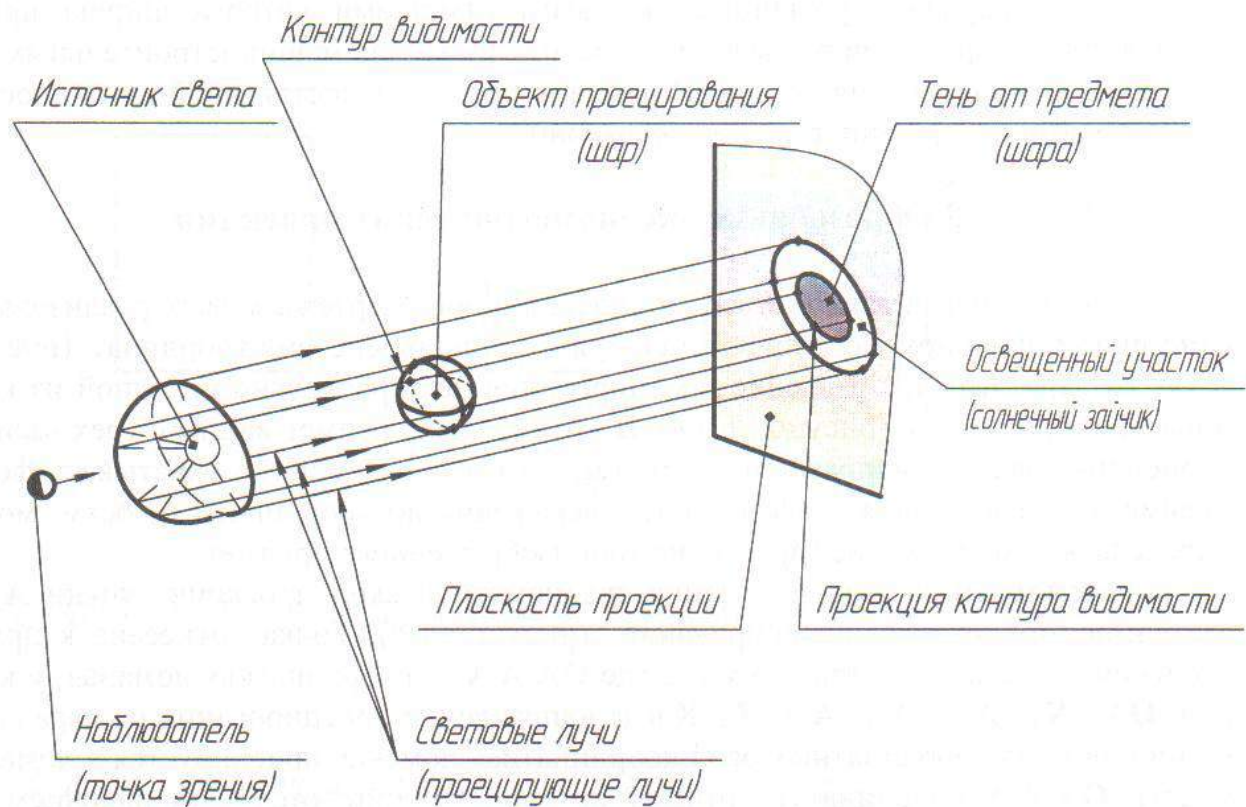
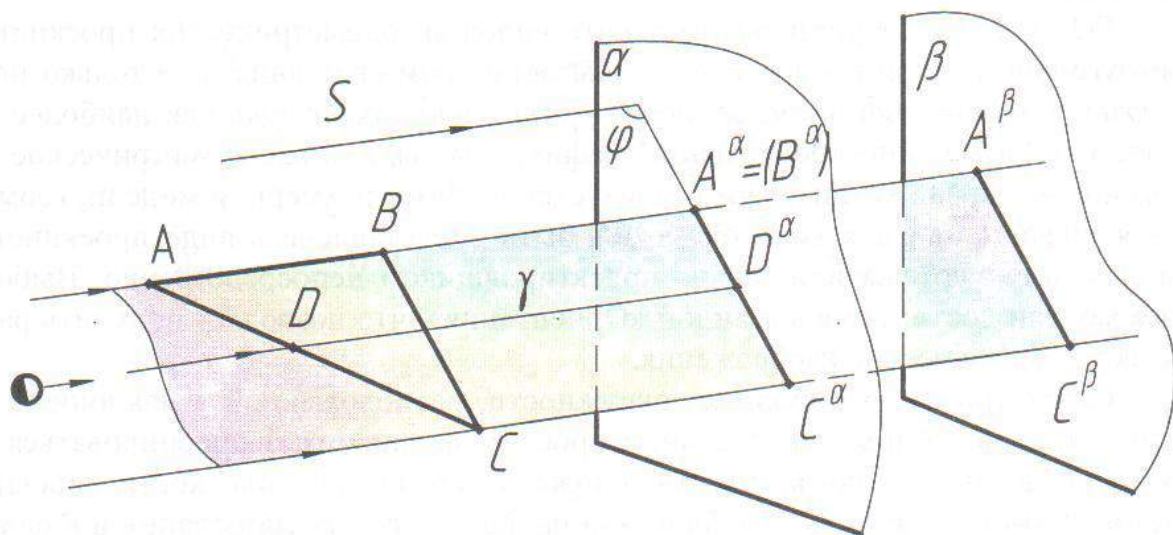


Рисунок 1.3 – Физическая модель параллельного проецирования



$\varphi = 90^\circ$ – ортогональное проецирование

$\varphi < 90^\circ$ – косоугольное проецирование

$$\beta \parallel \alpha \Rightarrow A^\beta C^\beta = A^\alpha C^\alpha; \frac{AD}{DC} = \frac{A^\alpha D^\alpha}{D^\alpha C^\alpha}$$

Рисунок 1.4 – Геометро-графическая модель параллельного проецирования

Тогда получают проекции с числовыми отметками, которые широко применяются при изображении рельефа местности, однако для машиностроительных чертежей такие изображения не применяются в виду их недостаточной наглядности и трудоемкости построения таких изображений.

1.3 Образование аксонометрических проекций

Достижения обратимости однопроекционного чертежа может реализоваться отнесением проецируемого предмета к прямоугольной системе координат (рисунок 1.5 а, б). При этом направление проецирования не параллельно ни одной из координатных плоскостей (рисунок 1.5 в). В этом случае предмет видим с трех взаимно перпендикулярных направлений (сторон), что позволяет легко схватывать форму предмета в целом. Зная коэффициенты искажения по координатным осям, можно определять и метрические характеристики изображенного предмета.

Рассмотрим модель получения аксонометрической проекции точки A как элементарного объекта проецирования (рисунок 1.6). Точка отнесена к прямоугольной системе координат $Oxyz$, где $OA_xA'A$ – координатная ломаная, у которой $OA_x = X_A$, $A_xA' = Y_A$, $A'A = Z_A$. Когда направление проецирования не параллельно ни одной из координатных осей координатная ломаная проецируется в ломаную кривую $OA_xA'A$, координатные отрезки которой проецируются с уменьшением размеров, которые характеризуются соответствующими показателями искажения $K_x, K_y, K_z < 1$. В зависимости от направления проецирования аксонометрические проекции разделяются на *прямоугольные* и *косоугольные*. Если показатели искажения по всем координатным осям одинаковые, то получаем *изометрическую* проекцию $K_x = K = K_z$; если $K_x = K_z \neq K_y$, то – *диметрическую*; если $K_x \neq K_y \neq K_z$ – *триметрическую* проекцию.

ГОСТ 2.317–69 устанавливает пять видов аксонометрических проекций: две прямоугольных и три косоугольных. Мы остановим свое внимание только на *прямоугольной изометрии* и *косоугольной фронтальной диметрии* как наиболее употребляемых в машиностроительной графике. Наглядное аксонометрическое изображение на экране компьютера реализуется на базе трехмерной модели, геометрическая информация для которой может быть представлена в виде проекционного комплексного чертежа или задана проектировщиком непосредственно. Выбор ракурса модели достигается командой «Ориентация», что позволяет получить различные аксонометрические изображения.

Рассмотрим проецирование окружности, расположенной в наклонной плоскости. Окружность при параллельном проецировании может проецироваться в натуральную величину, когда она расположена параллельно плоскости проекции, в отрезок прямой – когда она параллельна направлению проецирования и в эллипс – когда плоскость окружности образует острый угол с плоскостью проекции.

Образование эллипса хорошо видно на рисунке 1.7. Большая ось эллипса $A'B'$ равна диаметру окружности d , а величина малой оси зависит от угла наклона плоскости окружности к плоскости проекции – $C'D' = d \cos \varphi$.

Построение эллипса по заданным большой и малой осям приведено на рисунке 1.8. Так, для построения точки D необходимо сначала начертить две концентрических окружности с диаметрами равными большой и малой оси эллипса, затем из центра провести некоторый луч, который пресечет малую ось в точке 1, а большую – в точке 2. Из точки 1 проводим прямую параллельно AB – большой оси эл-

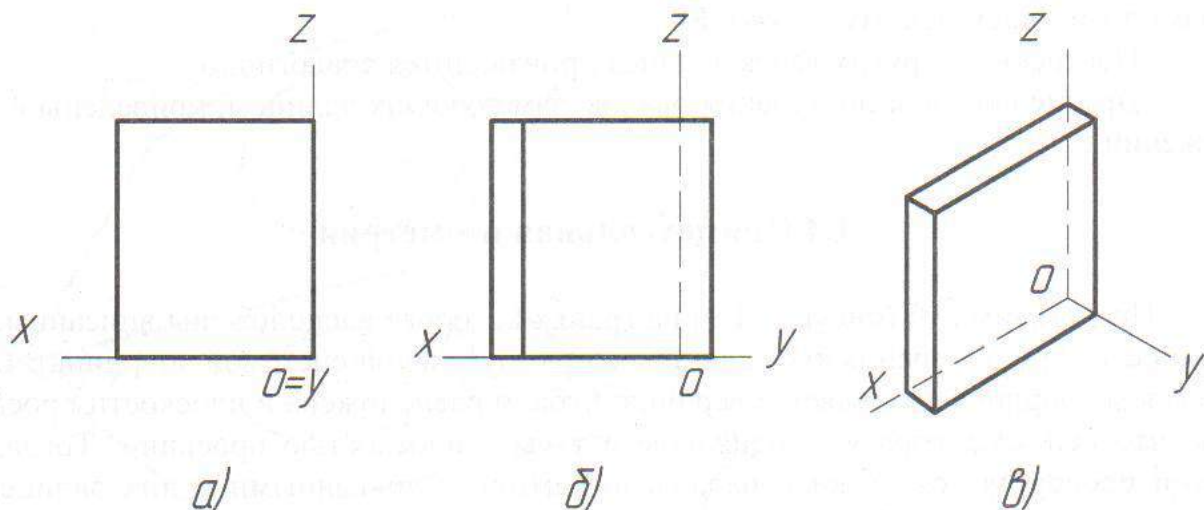
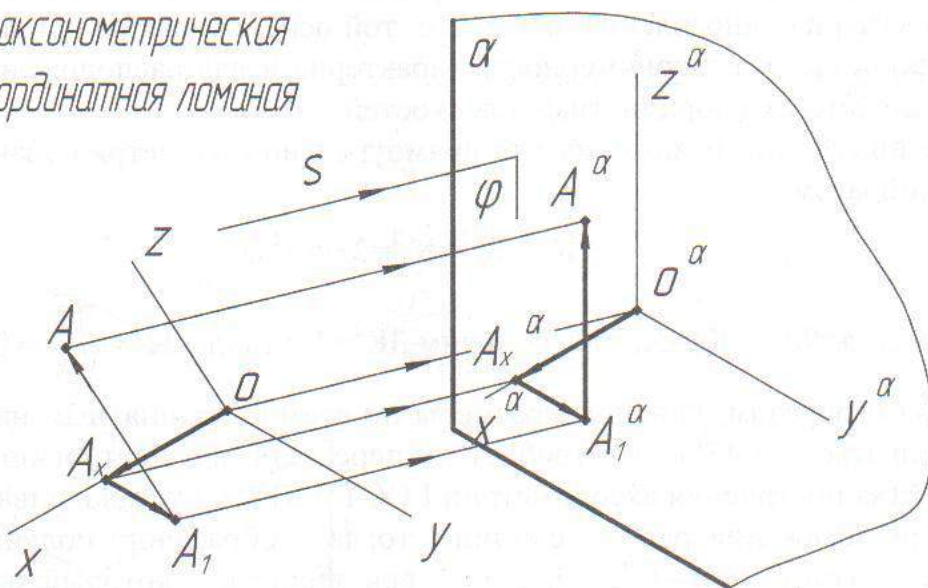


Рисунок 15 – Проекция параллелепипеда в различных положениях

$O^a A_x^a A_1^a A^a$ – аксонометрическая
координатная ломаная



$$K_x = \frac{O^a A_x^a}{O A_x} < 1$$

$$K_y = \frac{A_x^a A_1^a}{A_x A_1} < 1$$

$$K_z = \frac{A_1^a A^a}{A_1 A} < 1$$

Рисунок 16 – Модель получения аксонометрической проекции

липса, а из точки 2 – параллельно **CD** – малой оси эллипса. На пересечении этих прямых отмечаем искомую точку **E**.

Построение других точек эллипса производится аналогично.

Другие способы построения овалов, заменяющих эллипсы, приведены в приложении 5.

1.4 Прямоугольная изометрия

Представим куб (рисунок 1.9) на гранях которого расположены вписанные окружности. Три измерения куба связаны с прямоугольной системой координат **Oxyz**. Началом координат **O** является вершина куба, и расположена в плоскости проекции так, что оси **x, y, z** образуют одинаковые углы с плоскостью проекции. Тогда, все грани проецируются в виде параллелограммов с вписанными в них эллипсами, большая ось эллипса будет равна диаметру окружности, как было показано выше. Углы между осями **x, y, z** будут равны 120° (рисунок 1.10). Ось **z** располагается всегда вертикально, тогда оси **x** и **y** будут проходить под углом 30° к горизонтальной прямой через начало координат **O**. Обратим внимание на расположение большой оси эллипса относительно аксонометрических осей. Если окружность расположена в плоскости **xOy** или плоскости ей параллельной, то большая ось эллипса будет перпендикулярна направлению оси **z**, т. е. той оси, которая не принадлежит плоскости окружности. Эта закономерность характерна и для расположения большой оси эллипса для других координатных плоскостей.

Все показатели искажения для прямоугольной изометрии взаимосвязаны следующим образом:

$$K_x^2 + K_y^2 + K_z^2 = 2 + \operatorname{ctg}^2 \varphi.$$

Когда $\varphi = 90^\circ$ и $K_x = K_y = K_z$, получим $3K^2 = 2$, откуда $K = \sqrt{\frac{2}{3}} = 0,82$.

Таким образом, линейные размеры по всем координатным направлениям будут сокращаться на 18%, что требует их пересчета при построении аксонометрии. Для удобства построения аксонометрии ГОСТ 2.317–69 устанавливает приведенные показатели искажения равные единице, тогда изображение получается увеличенным в 1,22 раза ($1:0,82=1,22$). Большая ось эллипса, в который проецируется окружность, будет равна **1,22d**, а малая ось – **0,71d**.

Расположение большой оси эллипса, в зависимости от положения окружности относительно координатных плоскостей, приведено на рисунке 1.11а на примере цилиндров в различном расположении.

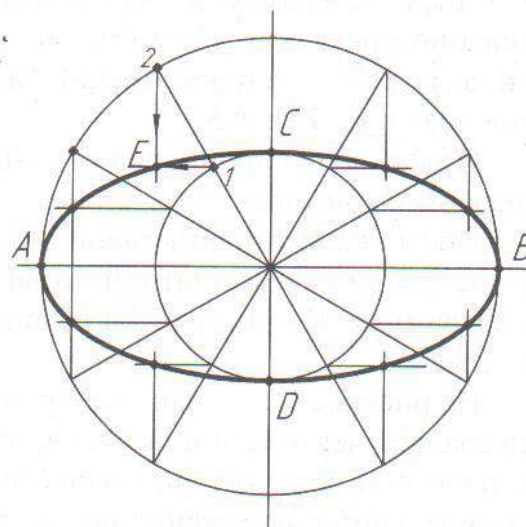


Рисунок 1.8 – Построение эллипса

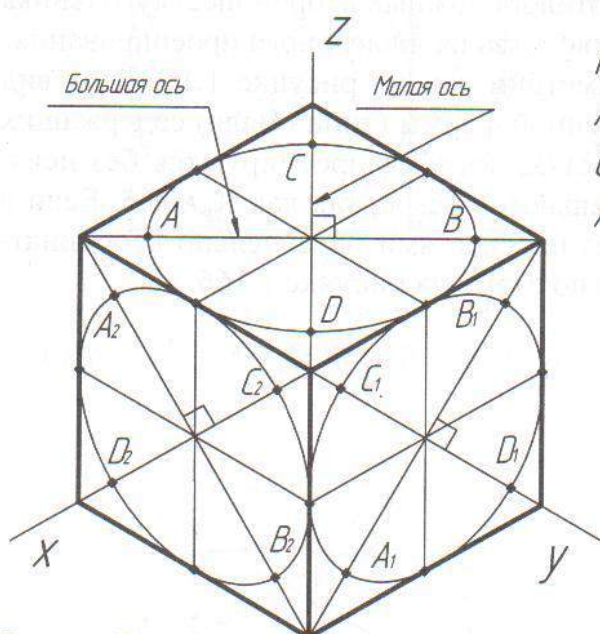
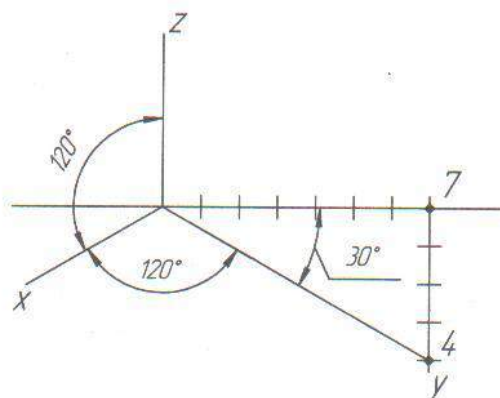

$$\begin{aligned} K'_x &= K'_y = K'_z = 1 \\ AB &= A_1B_1 = A_2B_2 = 1.22d; \\ CD &= C_1D_1 = C_2D_2 = 0.7d \\ AB &\perp z; A_1B_1 \perp y; A_2B_2 \perp x \end{aligned}$$


Рисунок 1.10 – Изображение и построение осей в прямоугольной изометрии

1.5 Фронтальная косоугольная диметрия

Данный вид аксонометрии получается, когда, например, одна грань куба параллельна плоскости проекции, а направление проецирования составляет угол $\varphi \approx 63^\circ$. Тогда, эта грань с вписанной окружностью в плоскости xOz (рисунок 1.12) проецируется без искажения $K_x = K_z = 1$, а грани в плоскости yOz и xOy проецируются в виде параллелограммов с вписанными в них эллипсами. При этом большие оси эллипса повернуты на $\sim 7^\circ$ в сторону большей диагонали параллелограмма и равна $1,07d$, а малая ось эллипса – $0,33d$. Ось y проходит под углом 45° , показатель искажения по оси y – $K_y = 0,5$.

Изображение цилиндров с осями, соответственно, параллельными Ox , Oy , Oz приведены на рисунке 1.11б.

Построение любой кривой линии в аксонометрии производится на основании построения координатной ломаной для каждой ее точки, с учетом показателей искажения. На рисунке 1.13 дано построение кривых по заданным координатам ее точек.

На рисунке 1.14а дано изображение одной и той же детали на проекционном комплексном чертеже и в аксонометрии с вырезом четверти детали по координатным плоскостям, на которых нанесена штриховка под углом 45° , после проецирования она займет положение по схеме на рисунке 1.14б. При построении аксонометрии следует обращать внимание на расположение элементов детали относительно координатных осей к которым отнесен предмет. Точки **A** и **D** расположены на оси x , прямые **BC** и **FE** параллельны оси x . Эта параллельность сохранится и на аксонометрии, точно как и параллельность противоположных сторон шестиугольника **AF** и **CD**, **DE** и **AB**, **BC** и **FE**, на основании свойства параллельного проецирования.

Пример построения косоугольной диметрии дан на рисунке 1.15. Этот вид аксонометрии удобен тем, что детали удлиненной формы (типа «Вал») содержащих много окружностей в параллельных плоскостях, которые проецируются без искажения. Размеры по направлению Oy – сокращаются вдвое, так как $K_y = 0,5$. Если в этом виде аксонометрии выполняется разрез плоскостями параллельно координатным плоскостям, то штриховка выполняется по схеме на рисунке 1.16б.

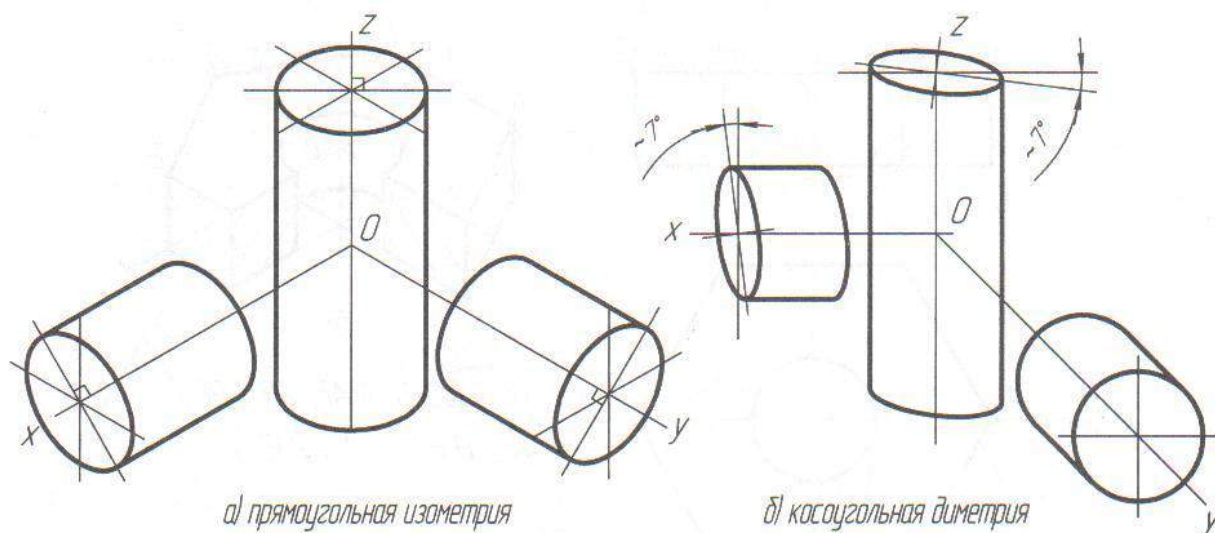
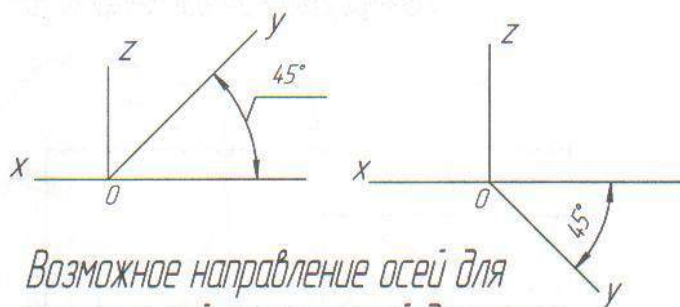
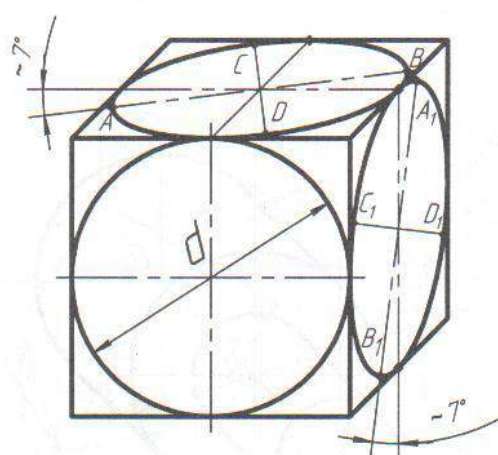


Рисунок 1.11 – Изображение цилиндров в аксонометрии с различной ориентацией осей вращения по координатным осям



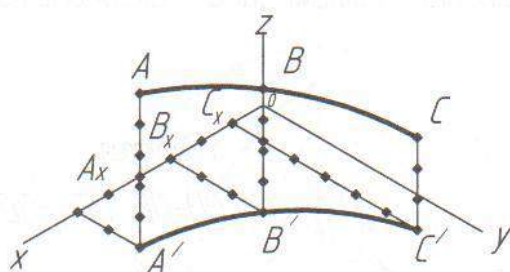
Возможное направление осей для косоугольной фронтальной диметрии

$$K'_x = K'_z = 1 \quad K'_y = 0,5$$

$$AB = A_1B_1 = 1,07d;$$

$$CD = C_1D_1 = 0,33d$$

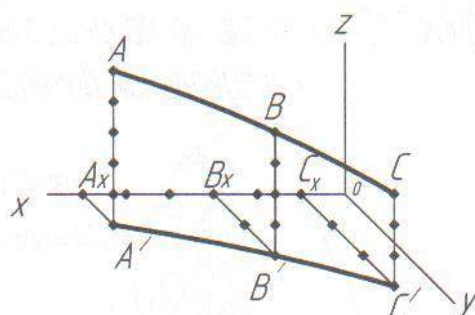
Рисунок 1.12 – Косоугольная фронтальная диметрия



A(6;2;5)

B(3;3;4)

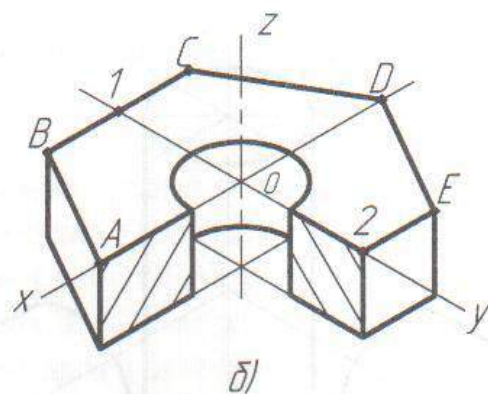
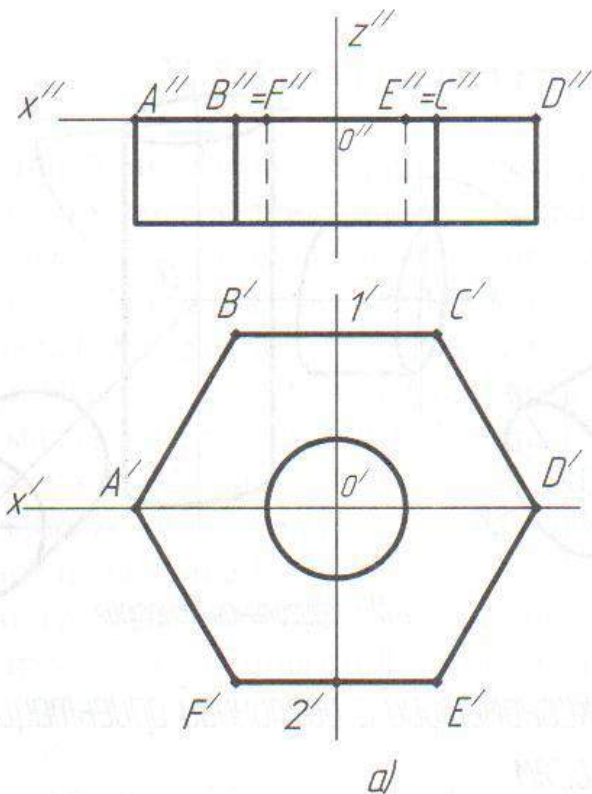
C(1;6;3)



а) прямоугольная изометрия

б) косоугольная фронтальная диметрия

Рисунок 1.13 – Построение кривой по заданным координатам точек



$BC \parallel FE; CD \parallel AF; AB \parallel DE$
 $A \cup D \in x; 1 \cup 2 \in y$

Рисунок 1.14 – Деталь на проекционном комплексном чертеже (а) и в аксонометрии – прямоугольная изометрия (б)

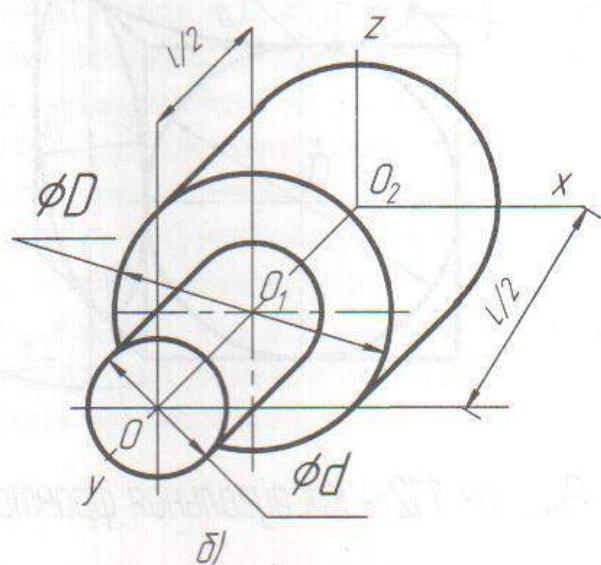
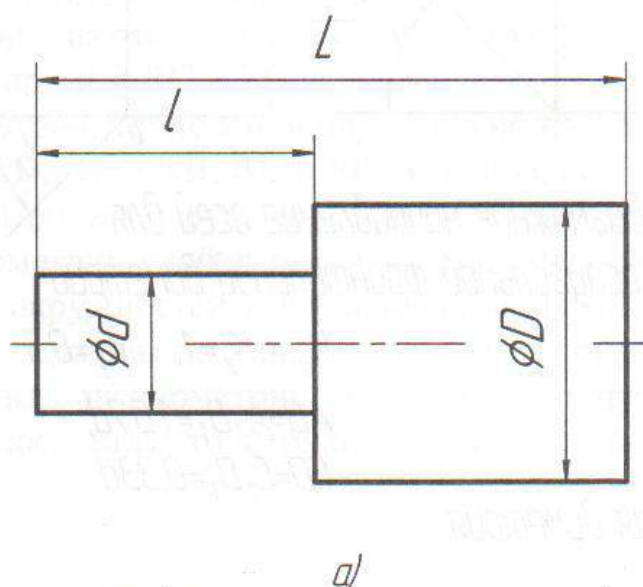


Рисунок 1.15 – Деталь на проекционном комплексном чертеже (а) и в аксонометрии – косоугольная диметрия (б)

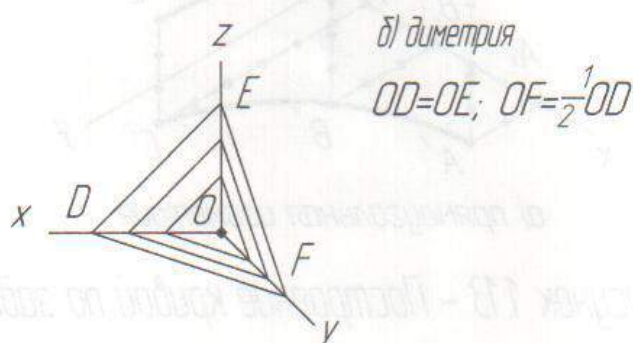
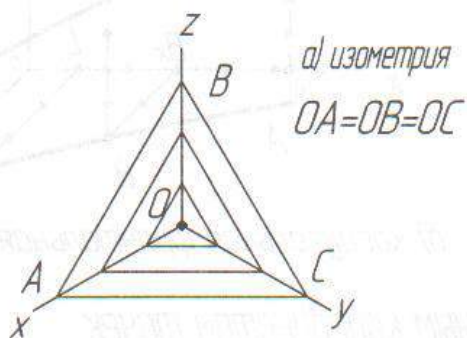


Рисунок 1.16 – Схема штриховки в аксонометрии в различных плоскостях xOy , yOz , xOz

1.6 Упражнения на построение аксонометрических проекций

1.6.1 Построить прямоугольную изометрию и косоугольную фронтальную диметрию следующих геометрических фигур, расположенных в различных координатных плоскостях (xOy , xOz , yOz):

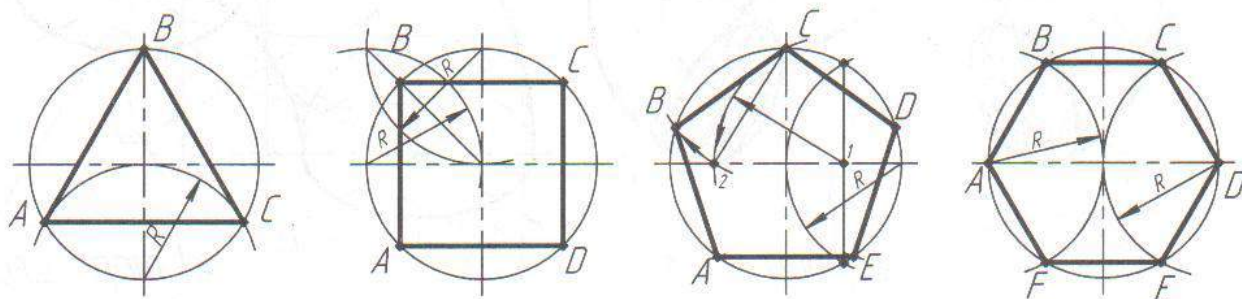
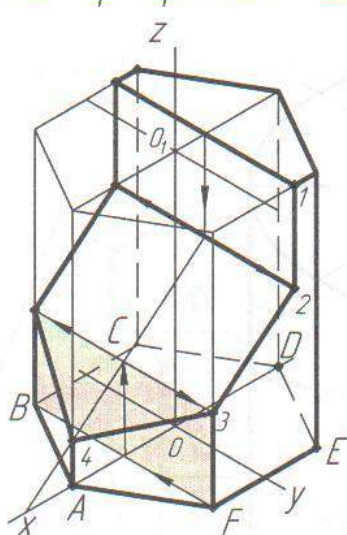
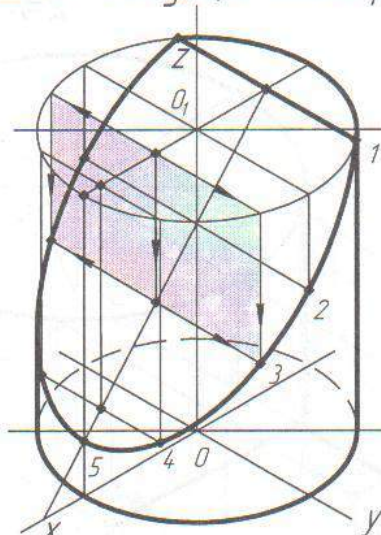


Рисунок 1.17 – Построение правильных многоугольников

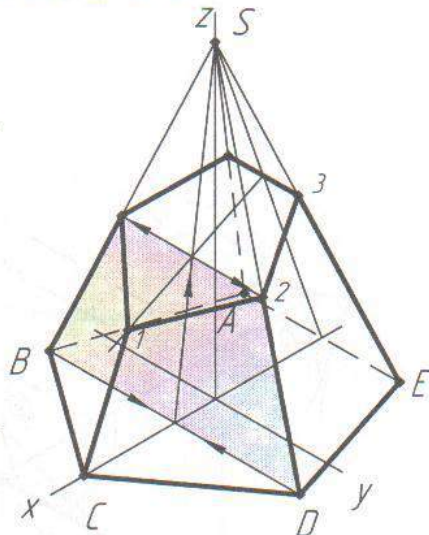
1.6.2 Перечертить в масштабе 2:1 следующие геометрические тела:



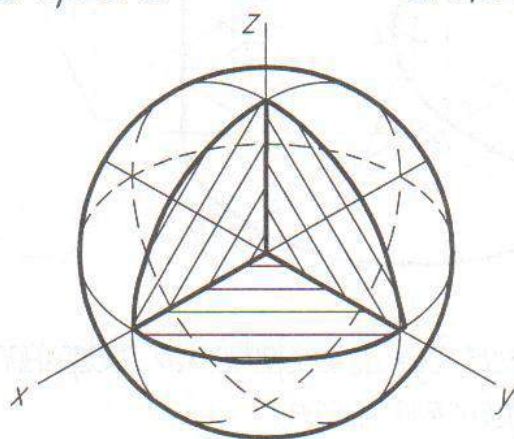
а) призма



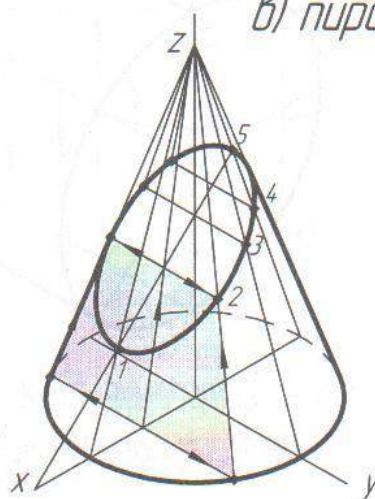
б) цилиндр



в) пирамида



г) шар



д) конус

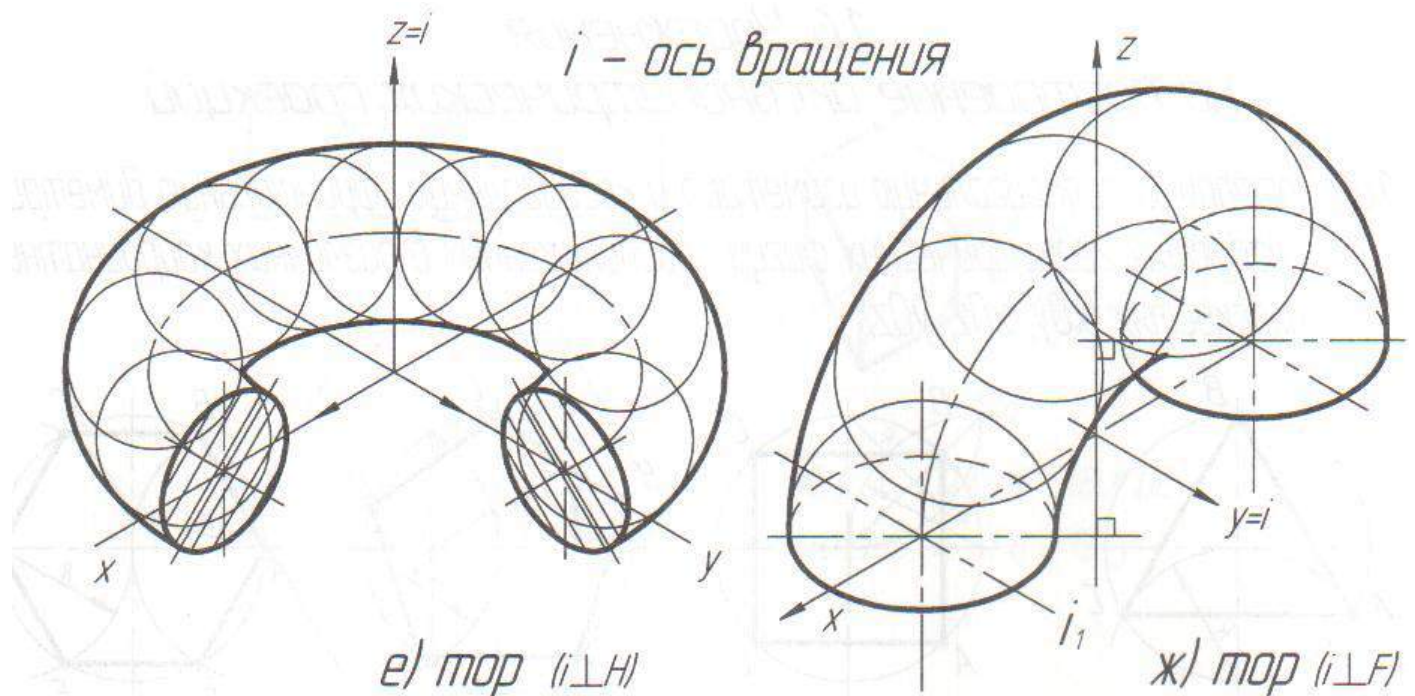


Рисунок 1.18 – Построение аксонометрических проекций геометрических тел.

1.6.3 Проанализировать построение линии пересечения поверхностей цилиндров.
Установить характер линии пересечения

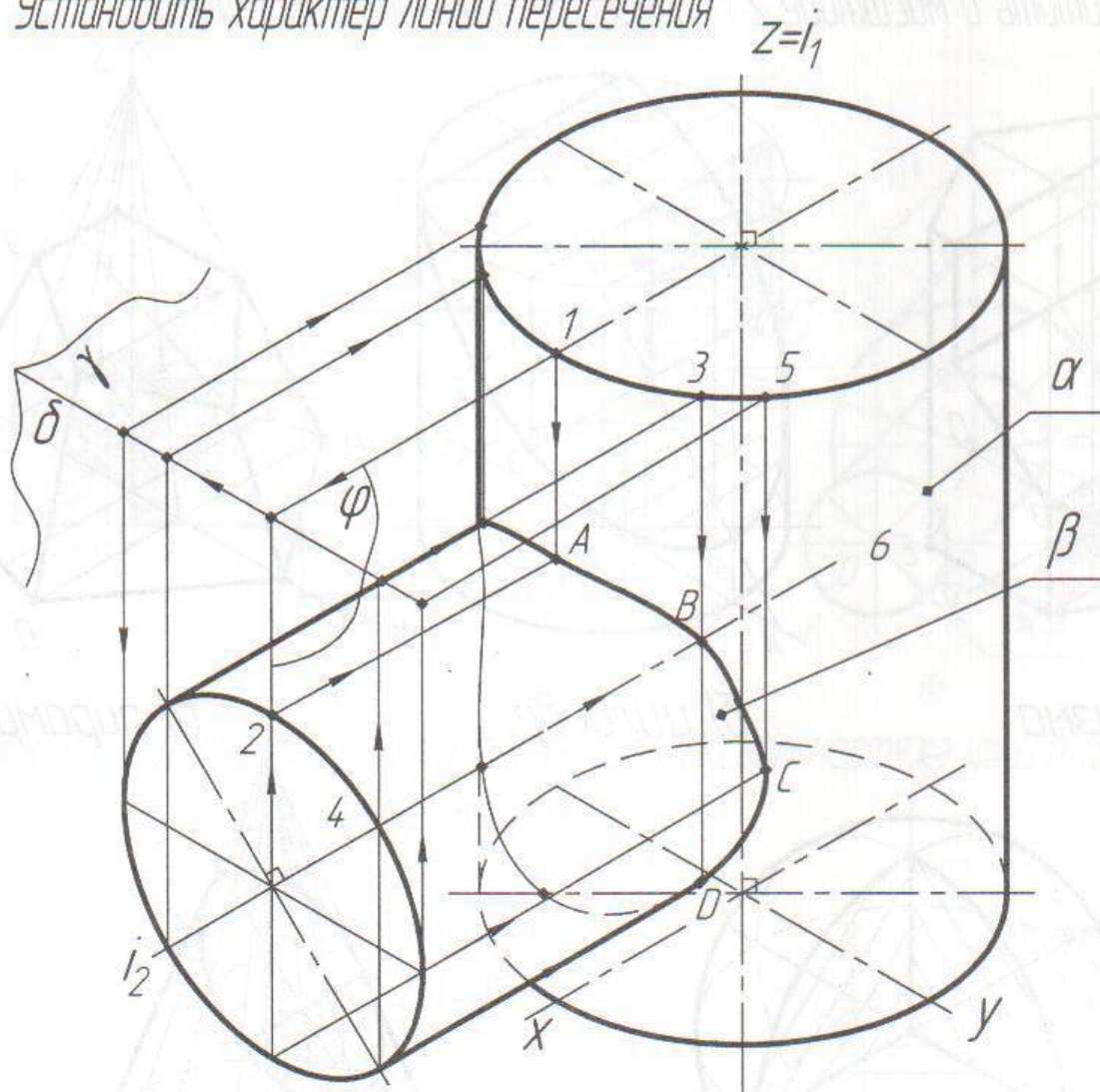
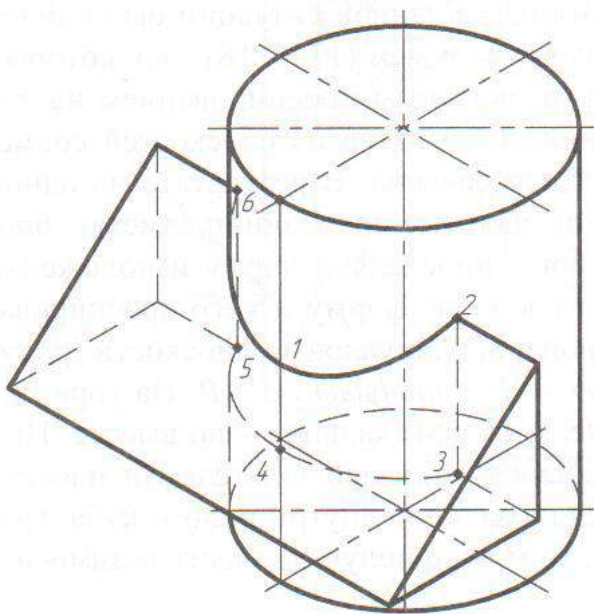
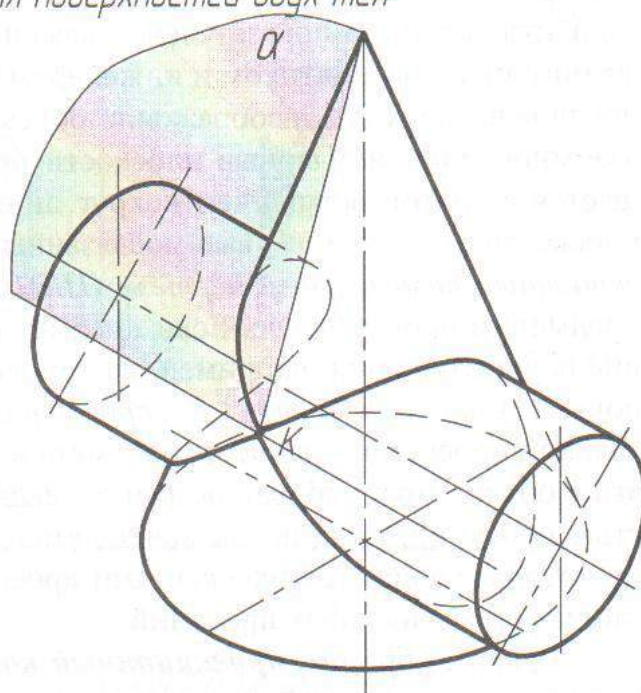


Рисунок 1.19 – Построение линии пресечения двух цилиндрических поверхностей методом посредников – секущих плоскостей

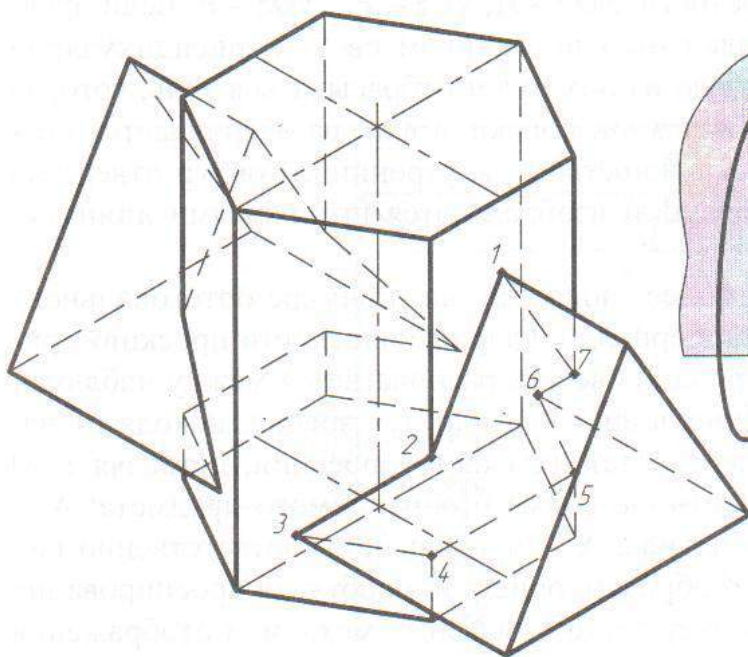
1.6.4 Проанализировать расположение каждого геометрического тела в пространстве и во взаимном расположении
Определить характер линии пересечения поверхностей двух тел:



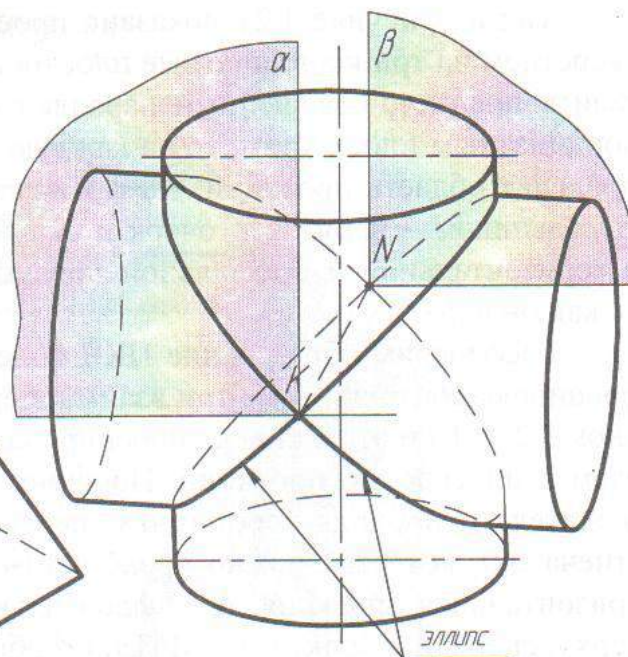
а) цилиндр и треугольная призма



б) конус и цилиндр



в) шестиугольная призма и треугольная призма



г) цилиндр и цилиндр

Рисунок 1.20 – Четыре случая пересечения поверхностей:

а – частичное врезание, б – одностороннее соприкосновение,
в – полное проникновение, г – двухстороннее соприкосновение

1.7 Образование проекционного комплексного чертежа

АксонOMETрическая проекция обладает большой наглядностью, а ее построение вручную достаточно трудоемкий процесс, при этом установление размеров детали требует учета показателей искажения. Выход из данной ситуации был найден французским математиком и инженером Гаспаром Монжем (1746–1818 г.), который предложил получать изображение объекта ортогональным проецированием на две взаимноперпендикулярные плоскости проекции. Затем одна из плоскостей совмещается с другой вращением вокруг линии их пересечения. В результате на одной плоскости получаем две взаимосвязанные ортогональные проекции предмета – *проекционный комплексный чертеж (ПКЧ)*, который определяет форму и положение предмета в пространстве. Если предмет имеет сложную форму, то его проецирование осуществляется, например, на три взаимноперпендикулярные плоскости (рисунок 1.21): *фронтальную* – F , *горизонтальную* – H и *профильную* – P . На горизонтальной проекции – размеры предмета в плане, а на вертикальной – по высоте. При этом объект проецирования всегда располагается между наблюдателем и плоскостью проекций. Если представить деталь, расположенную внутри полого куба, грани которого являются плоскостями проекции, то можно получить шесть взаимосвязанных ортогональных проекций.

Таким образом, *проекционный комплексный чертеж* – это комплекс взаимосвязанных проекций, однозначно определяющих форму, положение и размеры изображаемого предмета.

Так на рисунке 1.21 показано проецирование параллелепипеда со сквозным отверстием на три координатные плоскости: xOy – H , xOz – F , yOz – P . Если представить предмет, освещенный параллельным источником света перпендикулярно координатным плоскостям, то на каждую из них будет отбрасываться тень, которая определит область проекции. На фронтальной проекции фигура очерчивается прямоугольником – наружный очерк и окружностью – внутренний. Контур отверстия на горизонтальной и профильной проекции изображаются штриховыми линиями, так как он невидим.

Рассмотрим образование ПКЧ более подробно на примере ортогонального проецирования точки A на три взаимноперпендикулярные плоскости проекции (рисунок 1.22). При этом объект проецирования всегда располагается между наблюдателем и плоскостью проекций. Проецирующий луч или луч зрения, исходя от наблюдателя и проходя через точку, пересекает плоскость проекции, оставляя *след* (отпечаток), который можно представить как образ отображаемого предмета: A' – горизонтальная проекция, A'' – фронтальная, A''' – профильная, соответственно вид сверху, спереди и сбоку (слева). Таким образом, ориентация объекта проецирования относительно корпуса человека позволяет легко осмыслить механизм отображения предмета в прямоугольной системе координат. При этом две взаимноперпендикулярные плоскости проекции делят пространство на четыре части (четверти), а три – на восемь частей, которые называются *октантами*. Легко можно представить октанты на примере расположения аудитории в многоэтажном здании. Координатные плоскости делятся линиями их пересечения на полуплоскости. Так, например, II октант заключен за фронтальной плоскостью проекции слева от профильной над горизонтальной плоскостями проекции, а VII (невидимый на рисунке) – справа от профильной, ниже горизонтальной за фронтальной.

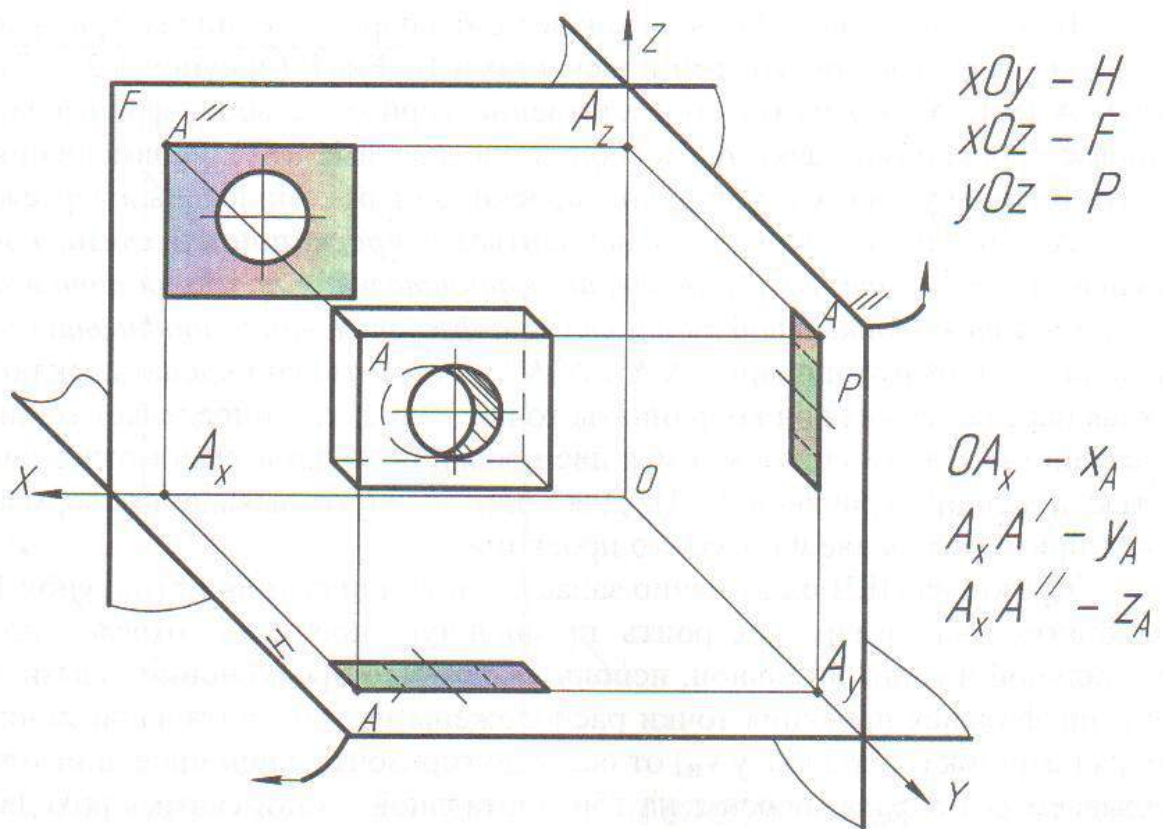


Рисунок 1.21 – Прямоугольное проецирование параллелепипеда с отверстием на три взаимноперпендикулярные плоскости проекции: F – фронтальную, H – горизонтальную, P – профильную

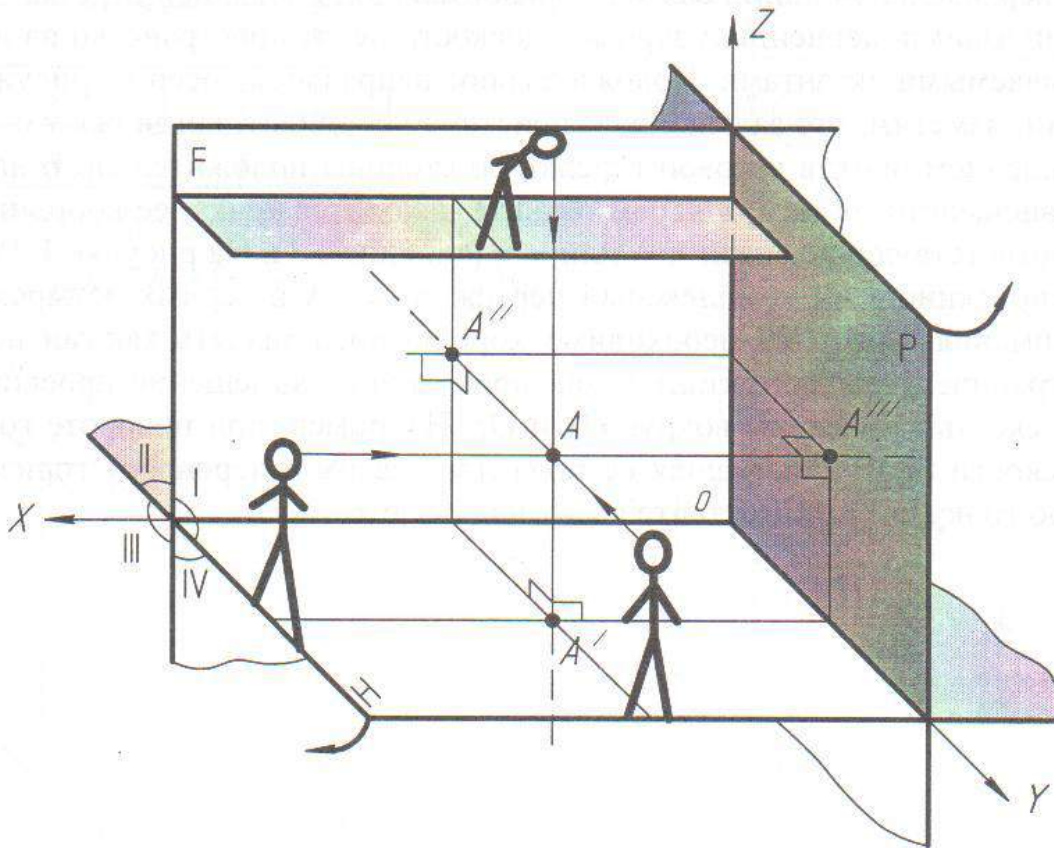


Рисунок 1.22 – Положение наблюдателя относительно проецируемого объекта (точка A) и плоскостей проекции- F , P , H

Пусть задана точка $A(3;4;5)$ как вершина параллелепипеда, три грани которого совмещены с координатными плоскостями H , F и P (рисунок 1.23). Тогда точки $A'(xy)$, $A''(xz)$, $A'''(yz)$ будут соответственно горизонтальной, фронтальной и профильной проекциями точки A . Повернув плоскости H и P до совмещения с F соответственно вокруг оси x и z , получим проекционный комплексный чертеж или *эпюр* точки A . Проекции точки будут находиться в *проекционной связи*, которая выражается в том, что горизонтальная и фронтальная проекция точки будут располагаться на вертикальной линии связи, а фронтальная и профильная на горизонтальной. Анализируя попарно $A'A''$, $A''A'''$ и $A'A'''$, можно сделать заключение, что каждая пара содержит три координаты точки – x, y, z , т. е. определяет ее положение в пространстве. Таким образом, имея две проекции точки всегда можно построить ее третью проекцию (рисунок 1.23). Для однозначного выявления формы предмета может применяться две и более его проекции.

Отрезок на ПКЧ однозначно задается двумя проекциями (рисунок 1.24). Если необходимо, например, построить профильную проекцию отрезка по заданной фронтальной и горизонтальной, используя правило проекционной связи (фронтальная и профильная проекция точки расположены на горизонтальной линии связи) и измеряя отрезок (координату y_B) от оси x до горизонтальной проекции точки B' , откладываем его справа от оси z на горизонтальной линии связи, проходящей через точку B'' , находим точку B''' . Если задана профильная проекция точки $C - C'''$, которая принадлежит отрезку AB , а необходимо построить фронтальную и горизонтальную ее проекцию, то используя проекционную связь точку C'' находим в пересечении линии связи с фронтальной проекцией отрезка, а горизонтальную – в пересечении вертикальной линии связи с горизонтальной проекцией отрезка.

Три взаимноперпендикулярные плоскости делят пространство на восемь частей, называемыми октантами. Положительное направление осей на рисунке указано стрелками. Заметим, что задана правая система координат, когда ось x совмещается с Oy вращением против часовой стрелки со стороны положительного направления Oz . В зависимости от того, в каком октанте находится точка, ее координаты будут иметь соответствующие знаки «+» или «-» (таблица 1.1). На рисунке 1.25 представлен трехпроекционный комплексный чертеж точки A в первых четырех октантах. Для понимания этих ПКЧ необходимо хорошо представлять какими полуплоскостями ограничен каждый октант и как происходит совмещение проекции точек в одну плоскость вращением вокруг Ox и Oz . Например, при повороте горизонтальной плоскости проекции, задняя ее пола идет вверх и переносит горизонтальную проекцию точку во II и III октанте вверх над осью x .

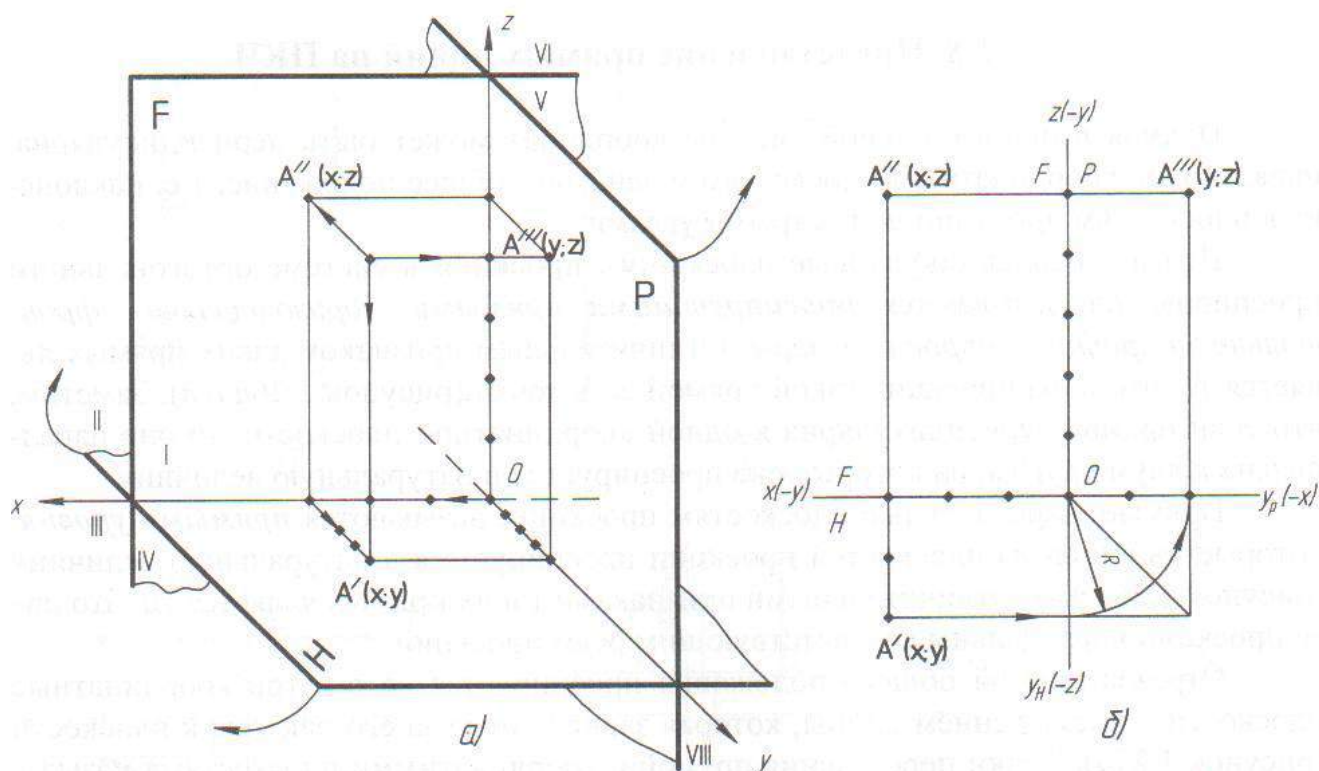


Рисунок 1.23 – Положение точки $A(3,4,5)$ в пространстве а) относительно прямоугольной системы координат, б) на проекционном комплексном чертеже

Октанты	Координаты	x	y	z
I		+	+	+
II		+	-	+
III		+	-	-
IV		+	+	-

Таблица 1.1 – Знаки координат точек, расположенных в I-IV октантах

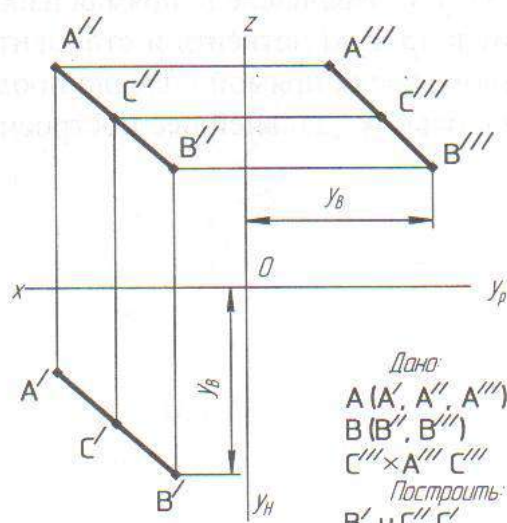
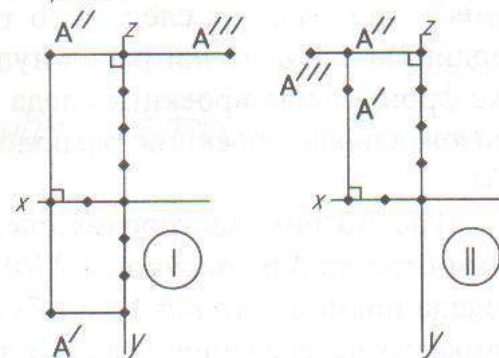


Рисунок 1.24 – Прямая в общем положении на ПКЧ

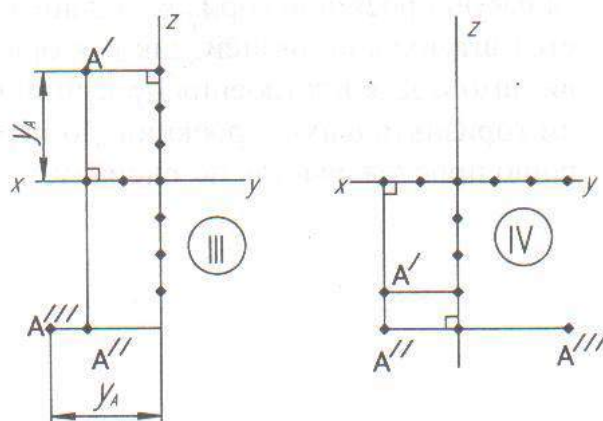


Рисунок 1.25 – Чертеж(эпюр) точки в октантах I-IV

1.8 Представление прямых линий на ПКЧ

Прямая в прямоугольной системе координат может быть перпендикулярна, параллельна координатным плоскостям и занимать общее положение, т.е. наклонена к плоскостям проекции под острыми углами.

Прямые перпендикулярные плоскостям проекции в системе ортогонального проецирования называются **проецирующими прямыми**: *горизонтально-, фронтально- и профильно-проецирующие*. Отличительным признаком таких прямых является то, что одна проекция такой прямой есть точка (рисунок 1.26а,б,в). Заметим, что если прямая перпендикулярна к одной координатной плоскости, то она параллельна к двум другим, на которые она проецируется в натуральную величину.

Прямые, параллельные плоскостям проекции, называются **прямыми уровня**, которые на одной из плоскостей проекции проецируются в натуральную величину (рисунок 1.26г,д,е). Отличительными признаками таких прямых является то, что две ее проекции параллельны соответствующим осям проекций.

Отрезок прямой общего положения проецируется на все три координатные плоскости с уменьшением длины, которая зависит от угла его наклона к плоскости (рисунок 1.27а). Точки пересечения прямой с координатными плоскостями называются **следами**, соответственно *горизонтальный, фронтальный и профильный*. Проецирующие прямые имеют один след, прямые уровня – два, прямые общего положения – три. Так как след – это точка пересечения прямой с плоскостью, то одна координата такой точки равна нулю. Если имеем горизонтальный след, то на чертеже фронтальная проекция следа расположена на оси x ; для фронтального следа – горизонтальная проекция расположена на оси x . Это хорошо видно на рисунке 1.27б.

Рассмотрим построение следов прямой общего положения, заданной проекциями отрезка АВ (рисунок 1.27б). Тогда для построения проекции горизонтального следа прямой – точки $1'$, необходимо сначала продлить фронтальную проекцию отрезка до пересечения с осью x и отметить фронтальную проекцию горизонтального следа – $1''$. Затем из этой точки проводим вертикальную линию связи до пересечения с продолжением горизонтальной проекции отрезка и отмечаем горизонтальную проекцию горизонтального следа – точку $1'$. После следа прямая изображается штриховой линией, так как она переходит в другую четверть и становится невидимой. Для построения проекции фронтального следа прямой сначала продолжаем горизонтальную проекцию до пересечения с осью x . Дальнейшее построение хорошо прослеживается по рисунку.

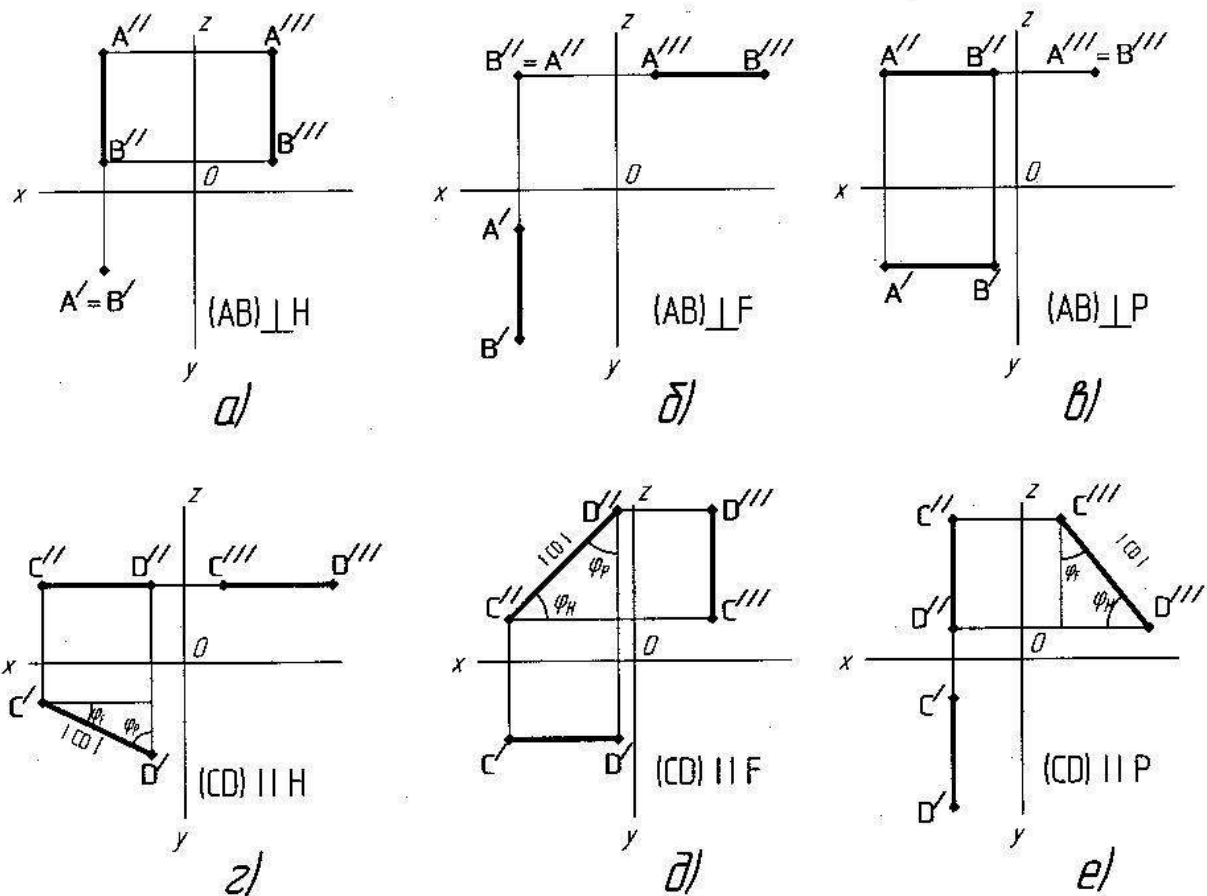


Рисунок 1.26 – Прямая на трехпроекционном комплексном чертёже в частном расположении

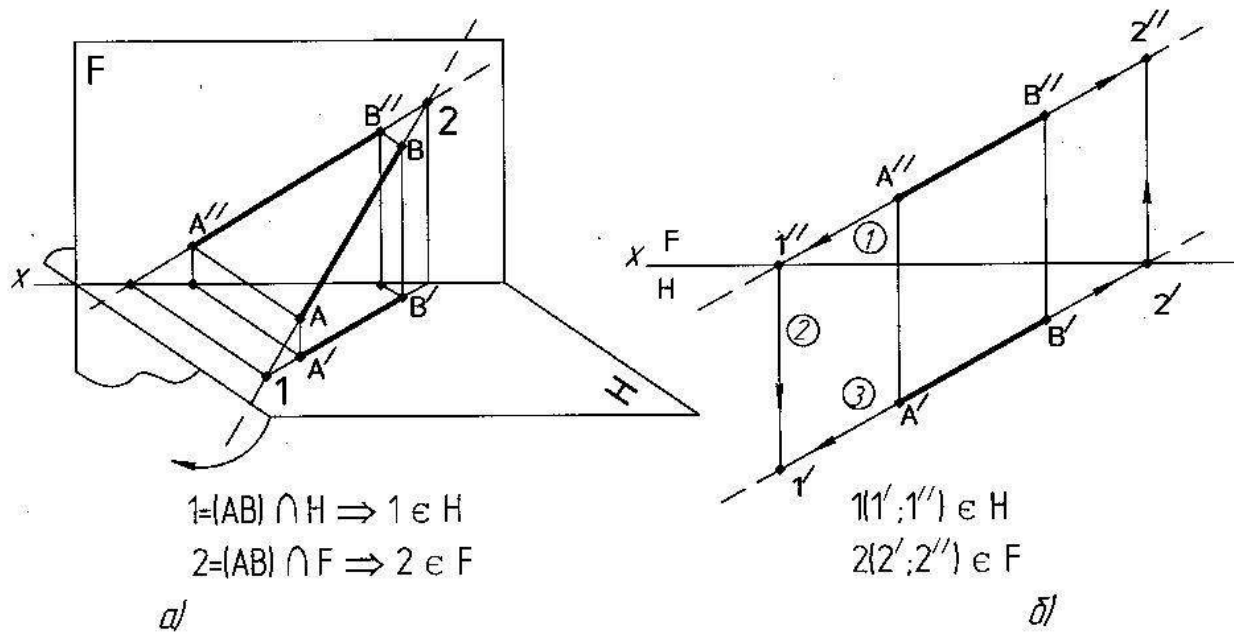


Рисунок 1.27 – Построение следов прямой общего положения

1.9 Контрольные вопросы

1. Что является предметом инженерной графики как науки?
2. Что понимается под моделированием?
3. Дайте определение геометро-графической модели?
4. Кто является основателем начертательной геометрии как науки?
5. Какие учебные задачи преследует изучение курса инженерной графики?
6. Какие виды графических изображений Вы знаете?
7. Позволяет ли технический рисунок устанавливать размеры изображенного предмета?
8. Какой вид проецирования усматривается в геометрической модели зрения человека?
9. На каком методе базируется построение технических изображений?
10. В чем сущность методов центрального и параллельного проецирования?
11. Назовите основные свойства параллельного проецирования?
12. Что есть общего и различного в техническом и художественном рисунках?
13. Что понимают под обратимостью проекционного изображения?
14. Дайте определение аксонометрической проекции и назовите условия её образования?
15. За счет чего достигается обратимость аксонометрического чертежа?
16. Как расположены аксонометрические оси и какие показатели искажения для прямоугольной изометрии и косоугольной фронтальной диметрии установлены ГОСТом?
17. Как расположены большие оси эллипсов, в которые проецируются в аксонометрии окружности относительно аксонометрических координатных осей?
18. Изобразите схему штриховки сечений по координатным плоскостям в аксонометрии?
19. В чем заключается сущность метода построения аксонометрической координатной ломаной для изображения кривых линий?
20. Дайте определение ПКЧ, как он образуется?
21. Как связаны попарно проекции точки на комплексном чертеже?
22. В чем выражается проекционная связь на комплексном чертеже?
23. Можно ли по двум заданным проекциям точки на ПКЧ построить третью?
24. Как образуются четверти и октанты пространства и как они расположены?
25. В каких октантах координата точки «у» и «х» отрицательны?
26. Что является отличительным признаком изображения проецирующих прямых и прямых уровня на комплексном чертеже?
27. Что является следом прямой?
28. Сколько следов может иметь прямая общего положения?
29. В какой последовательности ведется построение горизонтального и фронтального следа прямой на ПКЧ?

1.10 Упражнения

1.10.1 Построить третью проекцию точек A, B, C (рисунок 1.28)

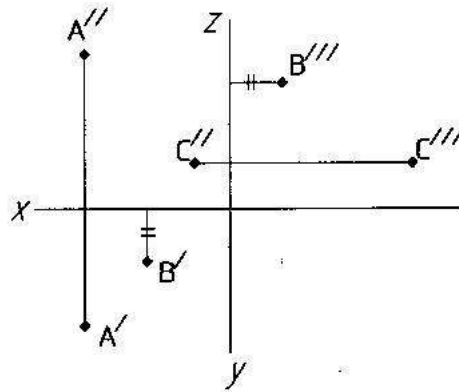


Рисунок - 1.28

1.10.2 По заданным проекциям точек A, B, C, D, E, F определить в какой четверти пространства или на границе каких четвертей расположены точки (рисунок 1.29)

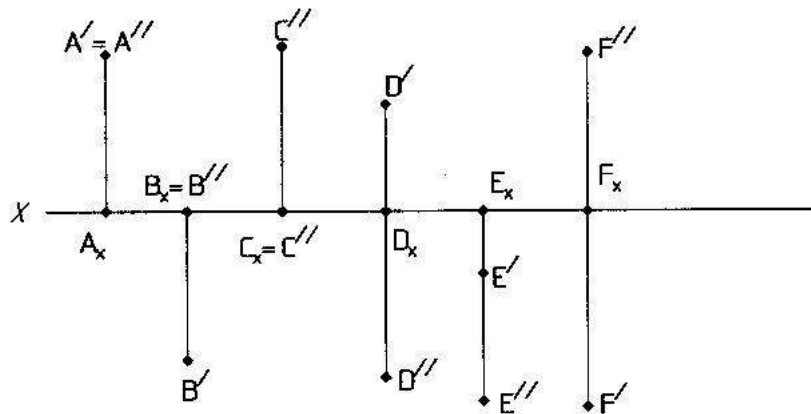


Рисунок - 1.29

1.10.3 Построить ПКЧ следующих точек: $A(40; 40; -50)$, $B(20; -50; 60)$, $C(60; -30; -70)$.

1.10.4 Построить ПКЧ отрезка $|AB| = 40\text{ мм}$: $A(20; 20; 0)$; $AB \parallel F$; $\angle ABH = 45^\circ$. Исследовать задачу на множественность решений.

1.10.5 Построить следы прямой (l', l'') . Определить четверти через которые проходит эта прямая (рисунок 1.30).

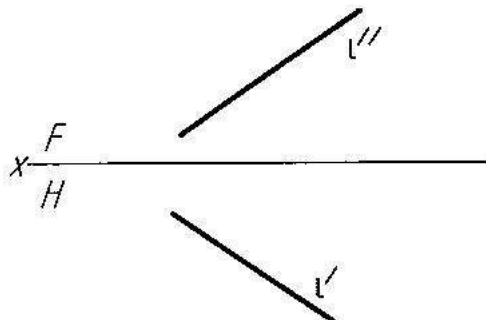


Рисунок - 1.30

1.10.6 Построить на ПКЧ модель центрального проецирования отрезка AB на плоскость F .
 $S(S'; S'')$ – центр проецирования. (рисунок 1.31)

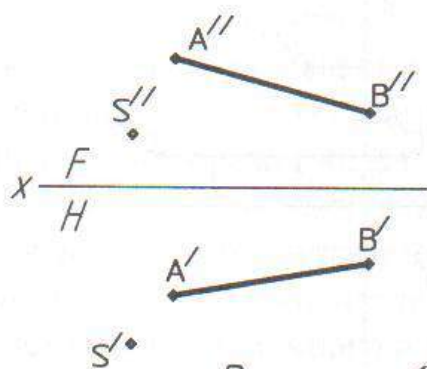


Рисунок – 1.31

1.10.7 Построить горизонтальную прямую, которая пересекает три заданные прямые: $a(a'; a'')$, $b(b'; b'')$, $c(c'; c'')$ и отметить точки их пересечения (рисунок 1.32).

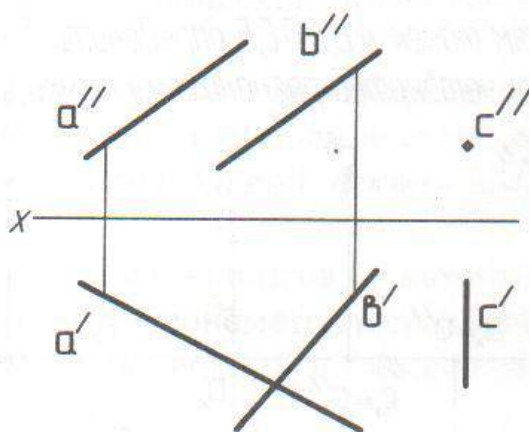
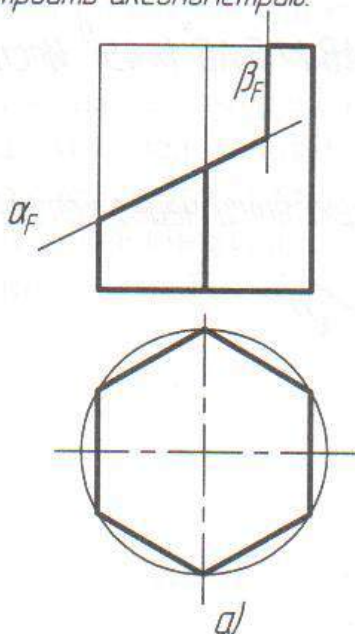


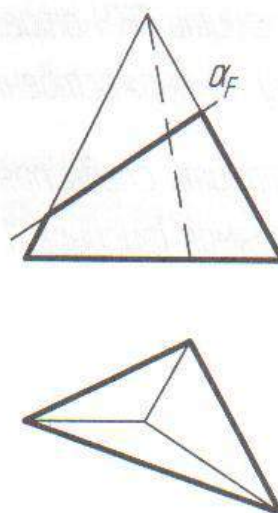
Рисунок – 1.32

1.10.8 Дана фронтальная и горизонтальная проекции призмы (рисунок 1.33а) и пирамиды (рисунок 1.33б) на призме выполнен вырез плоскостями α и β перпендикулярными фронтальной плоскостью проекции и срез плоскостью α (α_F) на пирамиде:

- 1) достроить горизонтальную проекцию заданных фигур и построить профильную проекцию призмы и пирамиды;
- 2) построить аксонометрию.



а)



б)

Рисунок – 1.33

1.11 Методические указания по выполнению индивидуальных графических работ

В работе требуется построить три проекции призмы, пирамиды, цилиндра, конуса, шара и тора на ПКЧ и в аксонометрии.

Определение геометрических тел и их изображения на ПКЧ см. п. 2.12.

Задания выполняются на белой чертежной бумаге формата А3 (297х420) в масштабе 1:1 в тонких линиях. Компоновка листа производится как на рисунке 1.34.

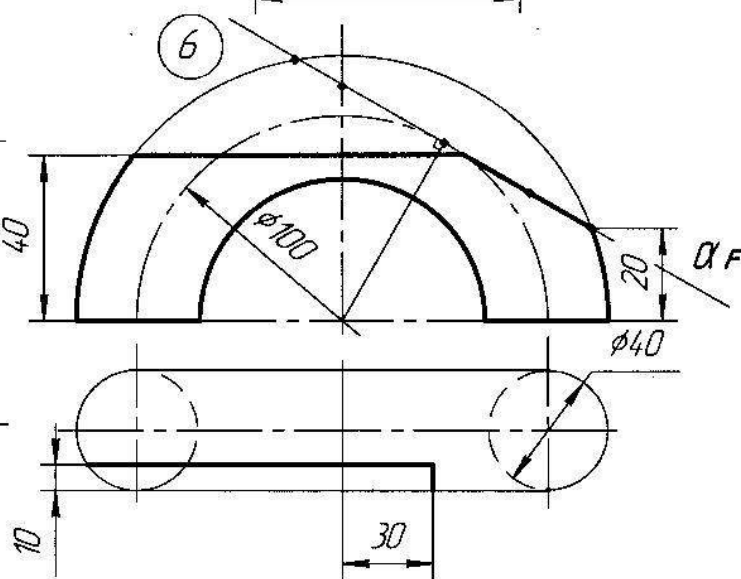
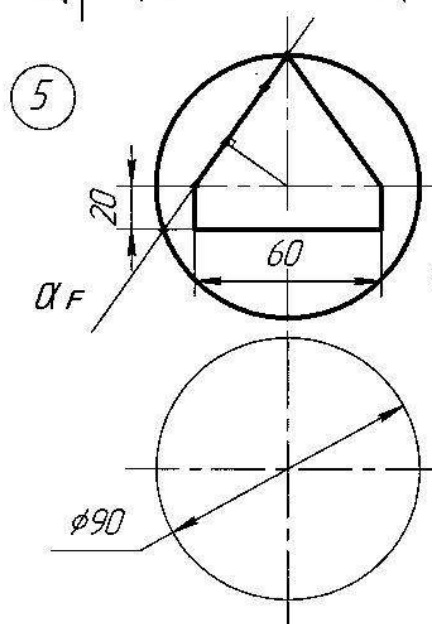
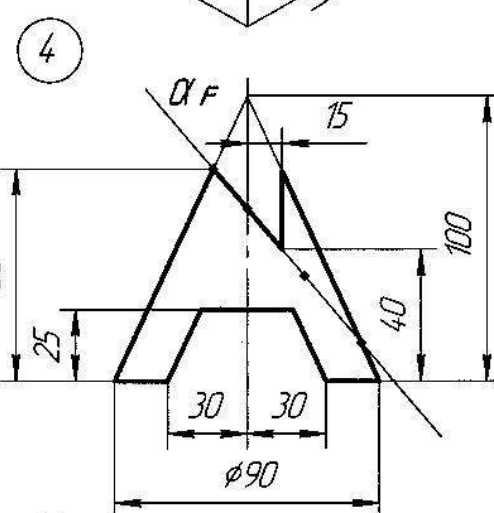
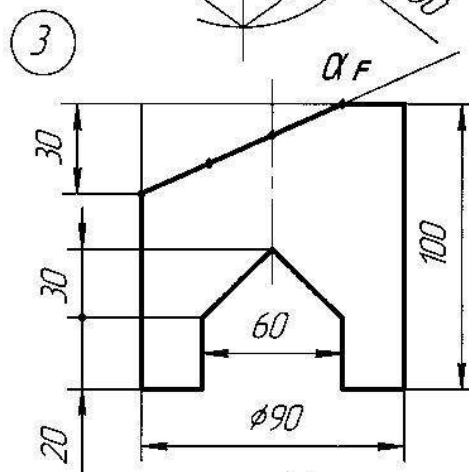
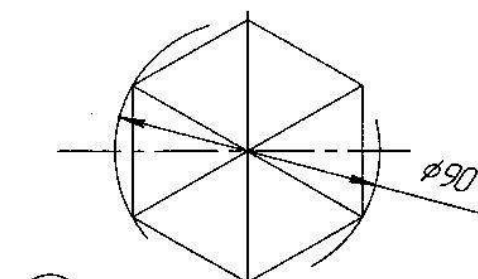
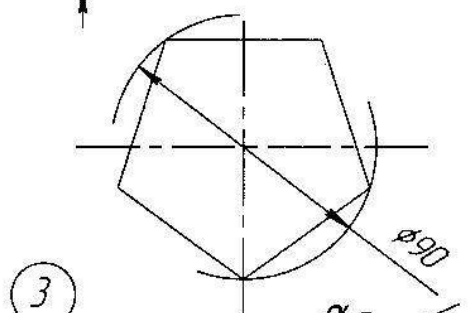
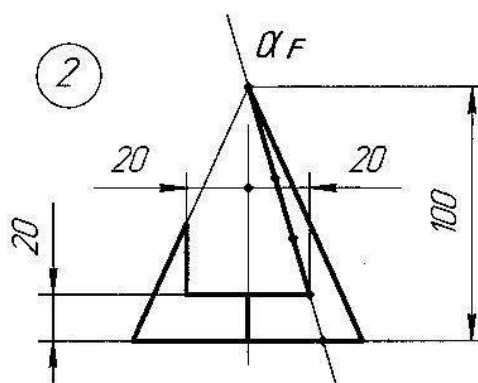
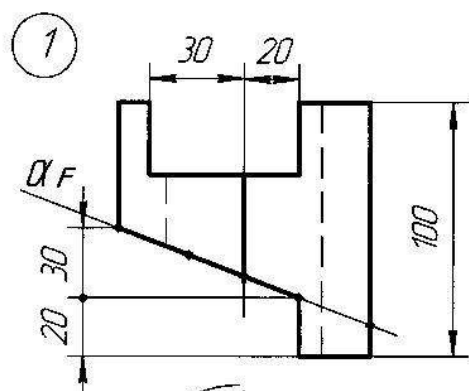
На первом этапе геометрические тела изображаются тонкими линиями без срезов и вырезов. После изучения материала второго модуля на геометрических телах вводятся сечения плоскостями.

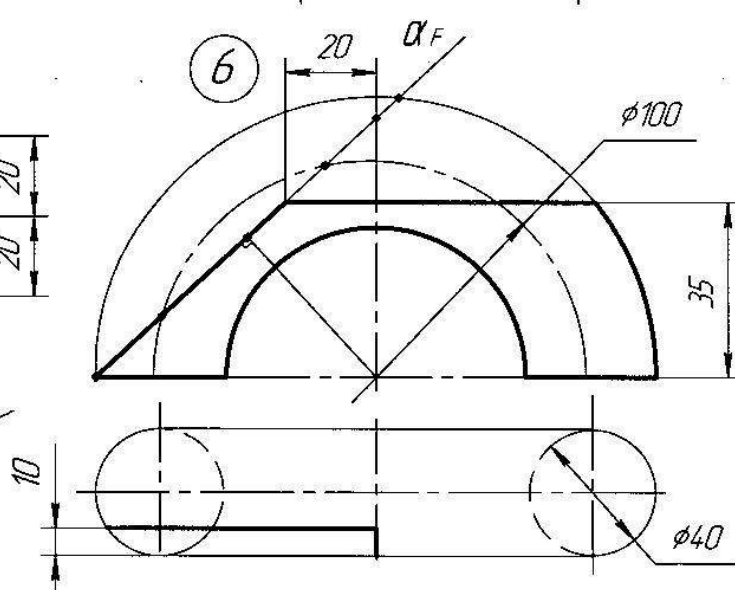
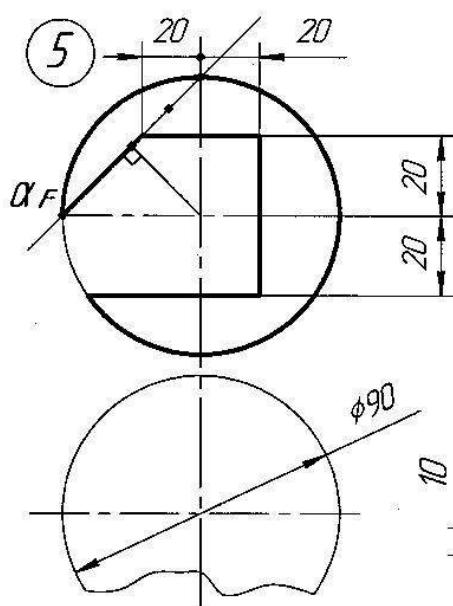
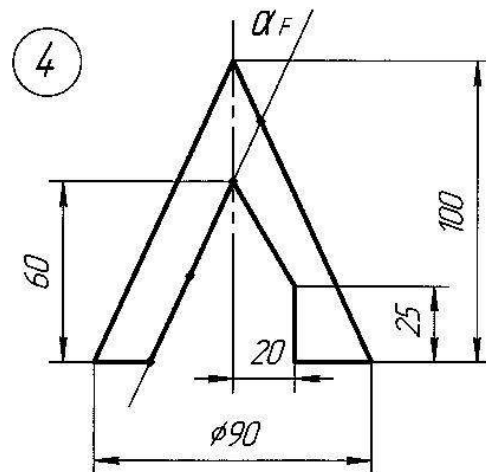
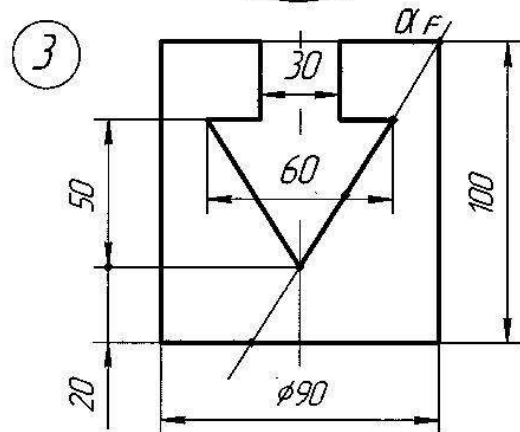
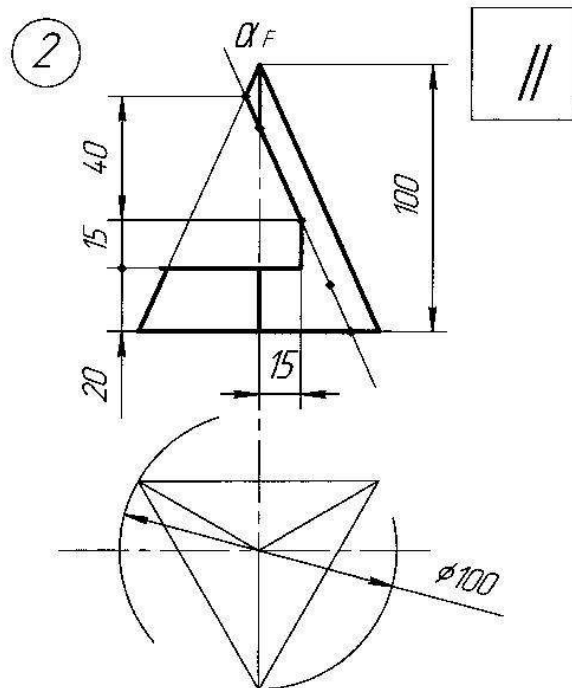
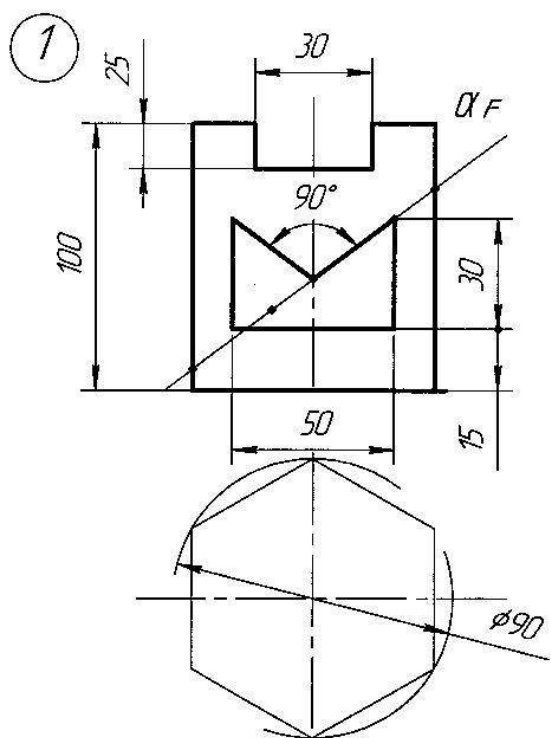
Задание рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

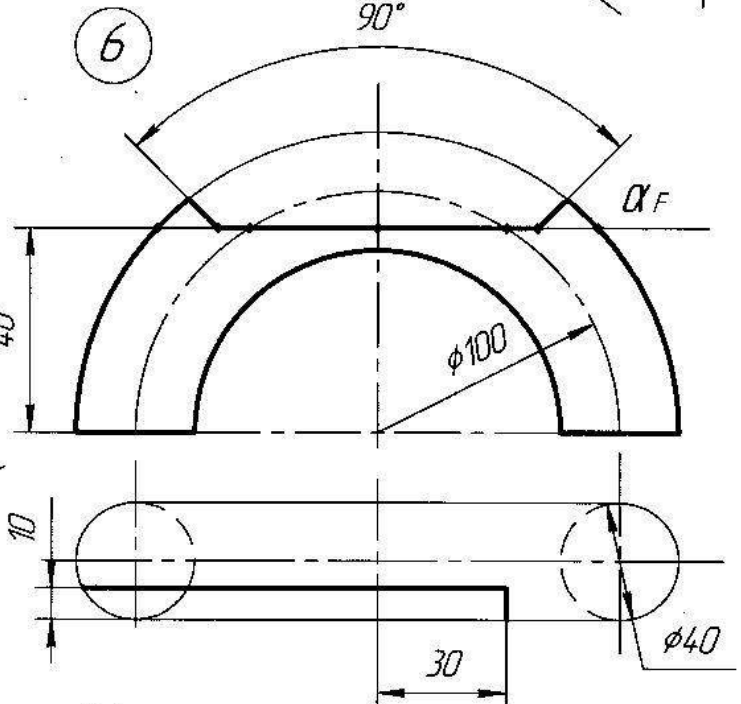
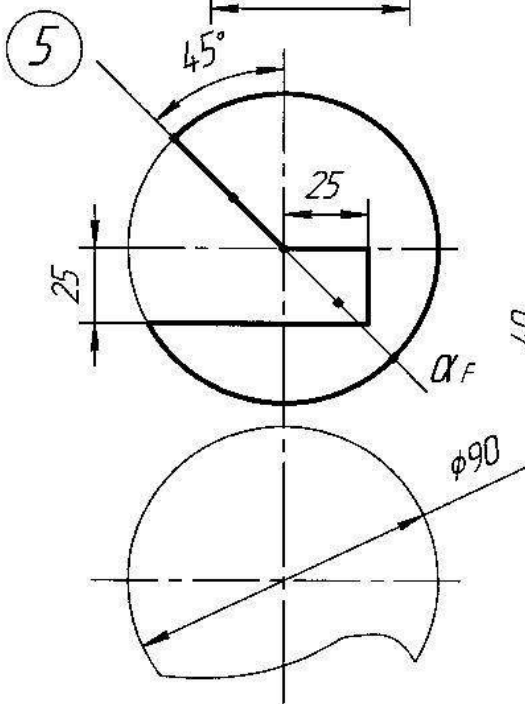
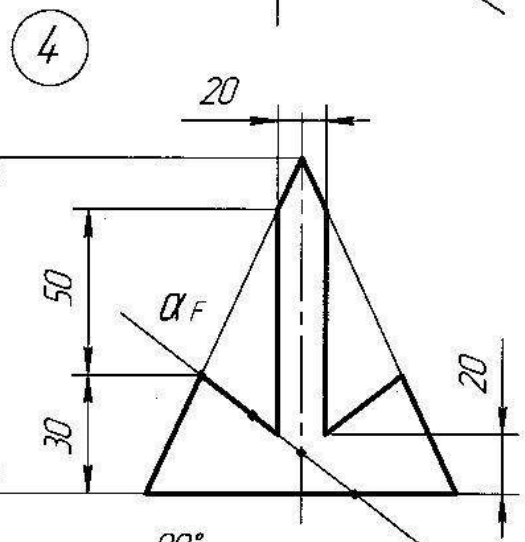
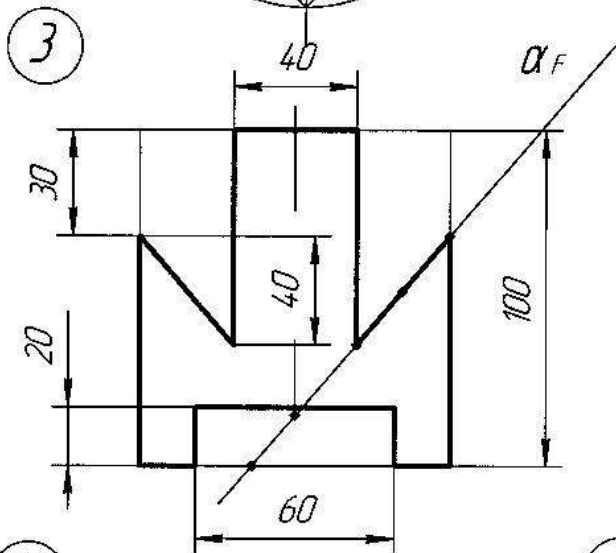
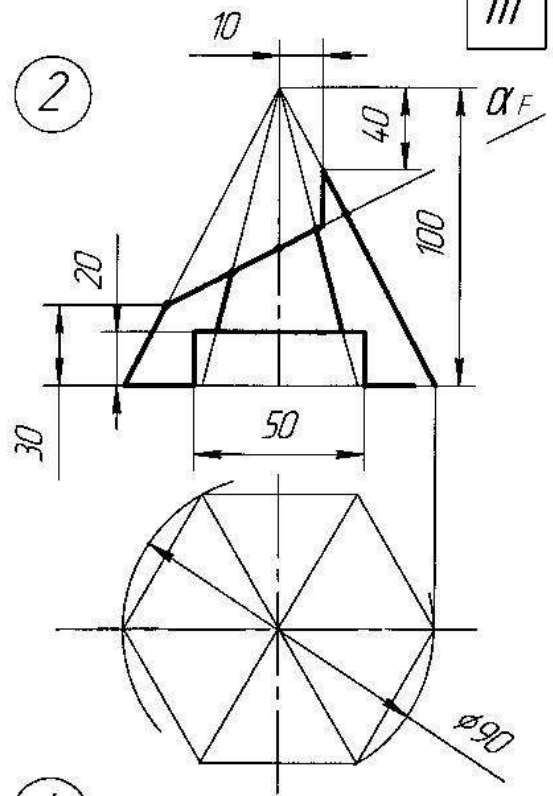
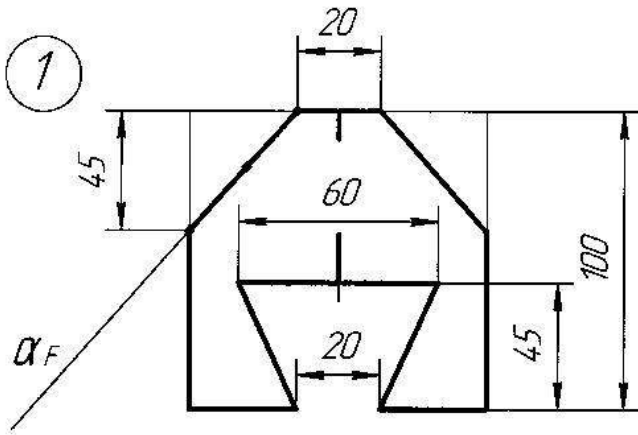
- произвести компоновку листа (расположить изображения на листе как на рисунке 1.34);
- указать прямоугольную систему координат на горизонтальной проекции (рисунок 1.34);
- проанализировать расположение вершин и сторон многоугольника в основании призмы и пирамиды, обратив внимание на принадлежность вершин осям x и y , а также параллельность сторон многоугольника относительно осей и противоположных сторон многоугольника (так как аксонометрическая проекция – это параллельная проекция предмета, то параллельные прямые в аксонометрии будут проецироваться параллельными);
- обязательно установить наличие симметрии фигуры в основании призмы и пирамиды относительно координатных осей;
- вычертить аксонометрические оси под соответствующими углами в зависимости от вида аксонометрии (если контур основания призмы или пирамиды является квадрат с вершинами, расположенными на координатных осях, то следует применять косоугольную фронтальную диметрию, уменьшая размеры по направлению оси y вдвое);
- вычертить опорный элемент (основание) относительно координатных осей x и y . Если основанием является круг, то контуром основания в аксонометрии будет эллипс, который заменяется 4-х центровым овалом (см. приложение 5). Для изображения шара вначале вычерчиваем в координатной плоскости xOy овал от проекции экватора шара. При построении тора, когда его ось вращения перпендикулярна фронтальной плоскости проекции и совпадает с осью y . На расстоянии радиуса центральной окружности на оси x находим центры овалов от образующих окружностей и строим их. Затем вычерчиваем овал от центральной окружности в координатной плоскости xOz и описываем семейство окружностей радиусом равным половине большой оси овала с центрами на овале от центральной окружности. Проводим левую кривую, касательную к этим окружностям, и получаем очерк тора в аксонометрии (рисунок 1.18.жс).
- на оси z отложить высоту фигур (призмы, пирамиды, цилиндра, конуса) и получить вершину конуса и пирамиды, или построить верхнее основание призмы и цилиндра;
- строим ребра призмы и пирамиды или очерки тел вращения, с учетом их видимости в предположении, что фигуры твердотельные (не прозрачны).

1.12 Варианты условий индивидуальных графических работ (ИГР)

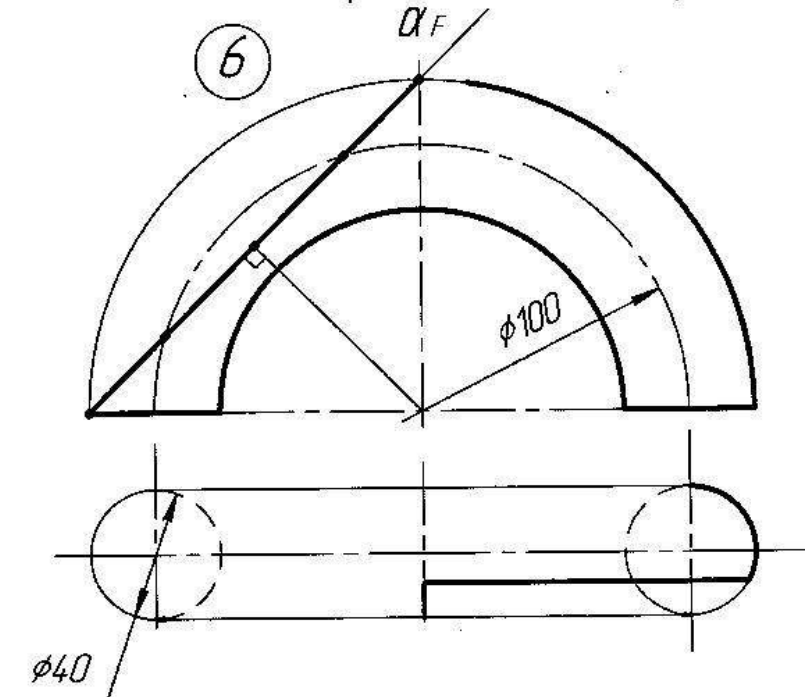
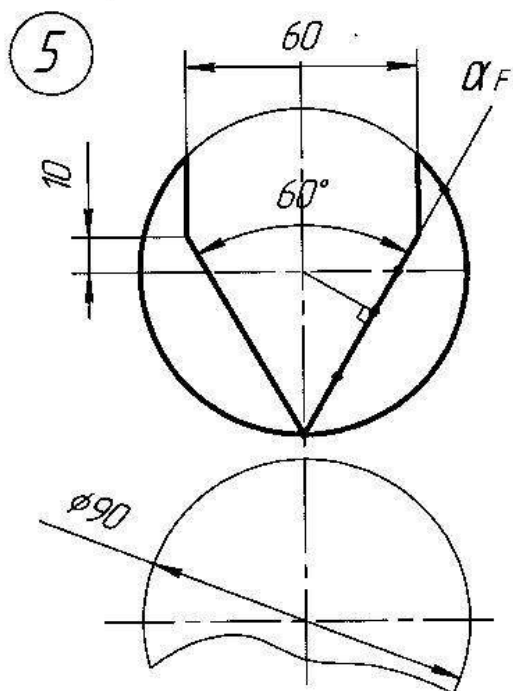
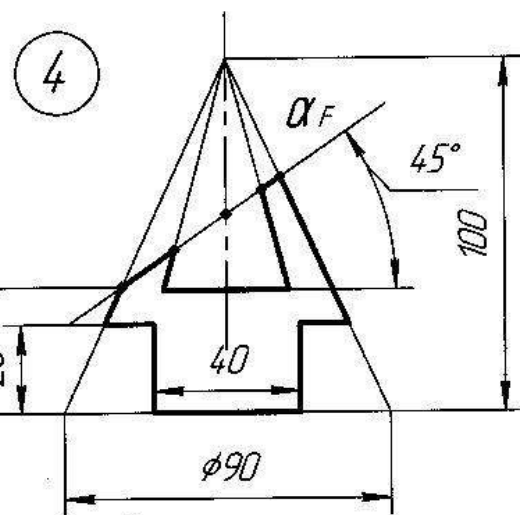
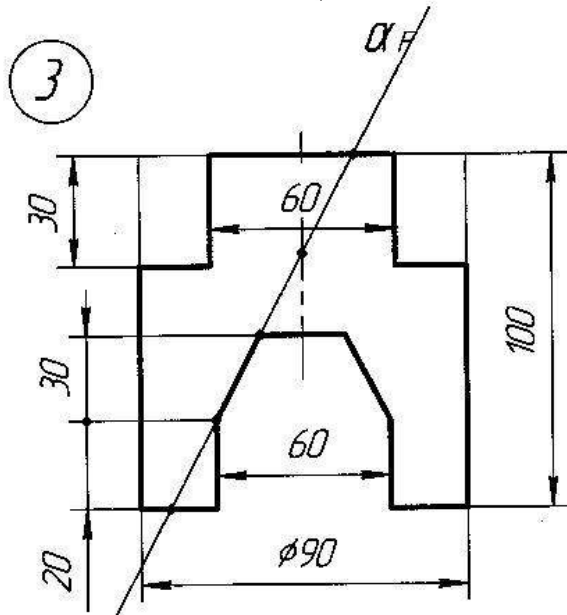
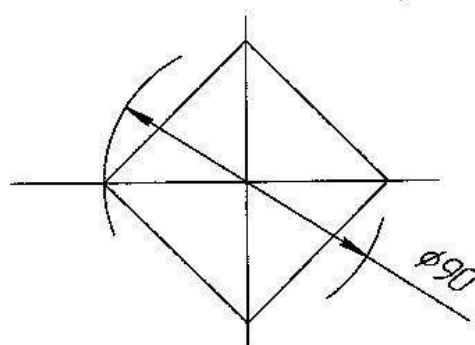
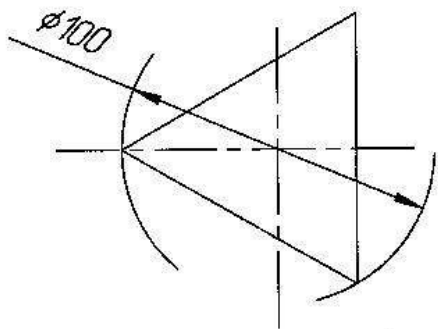
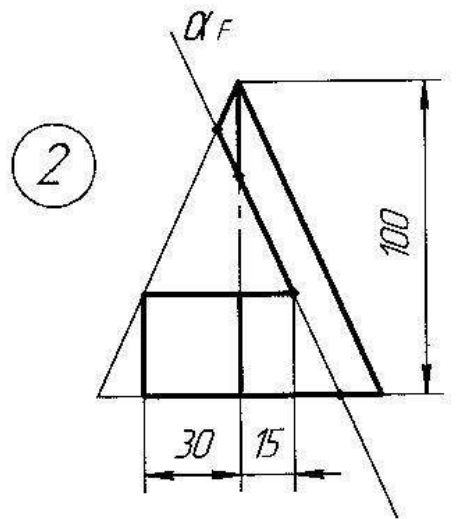
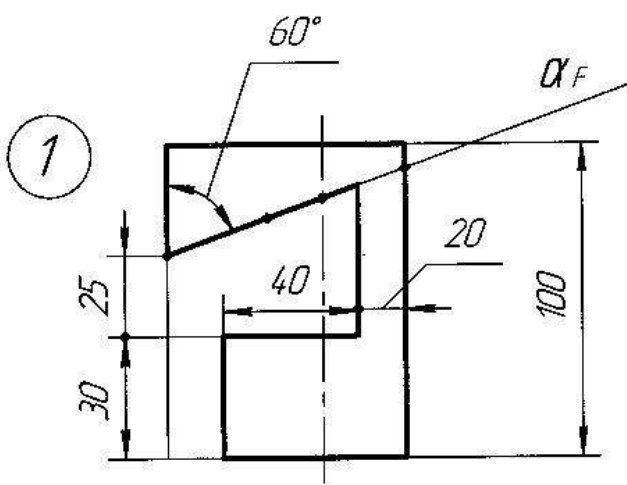
/

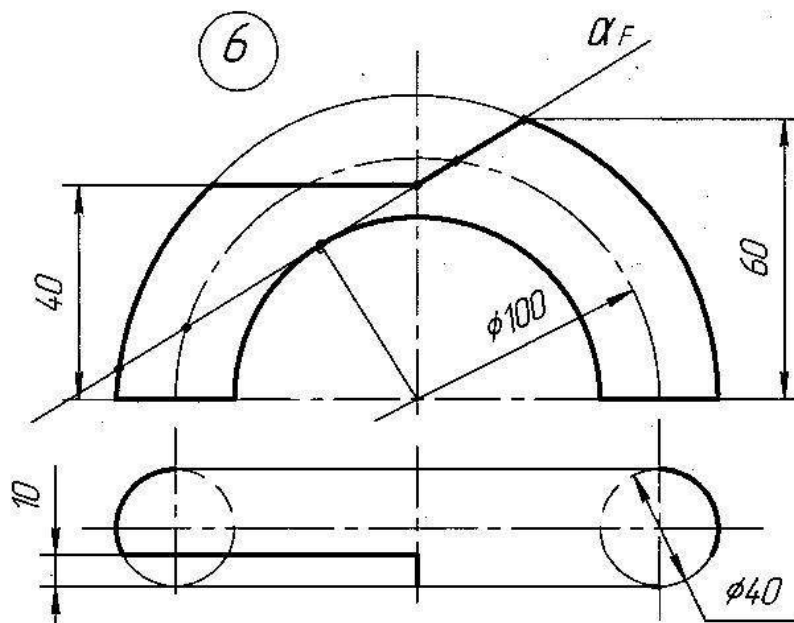
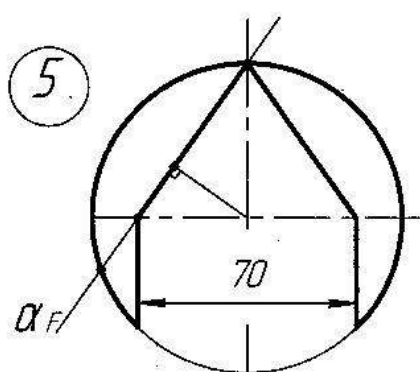
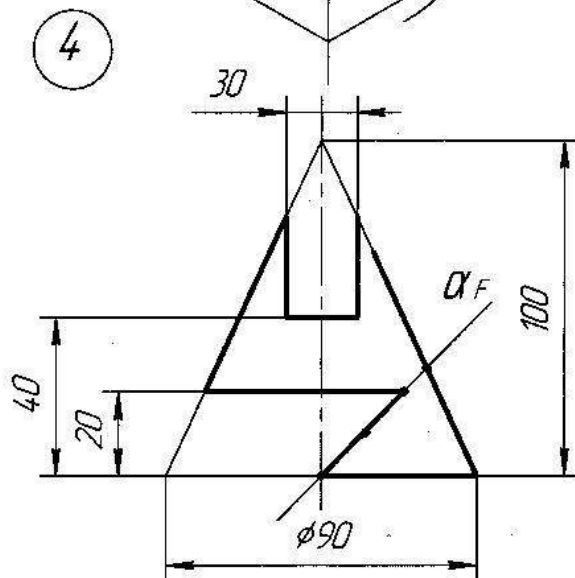
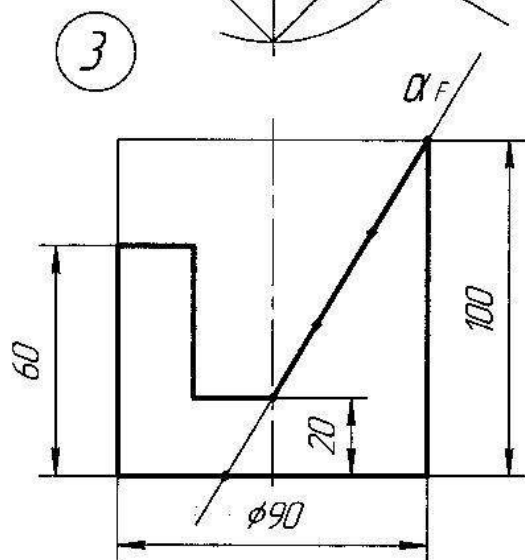
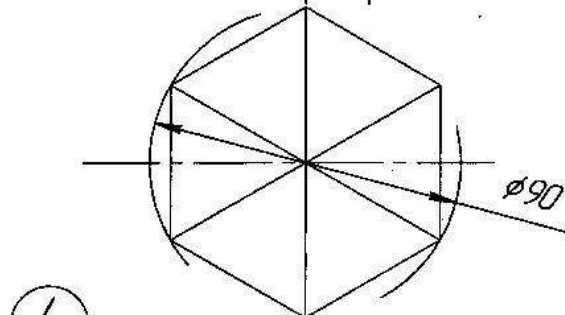
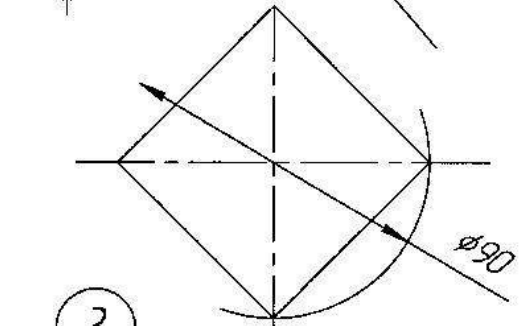
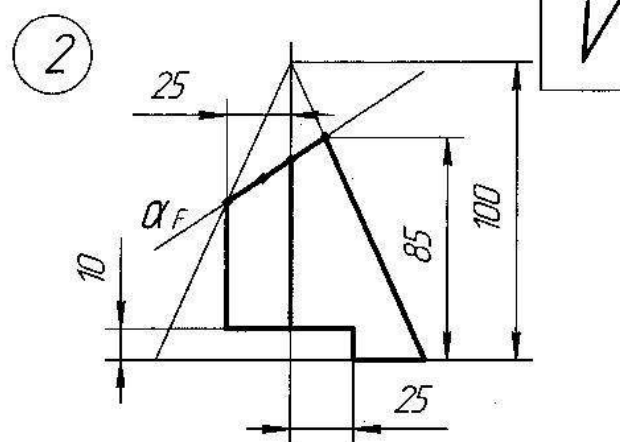
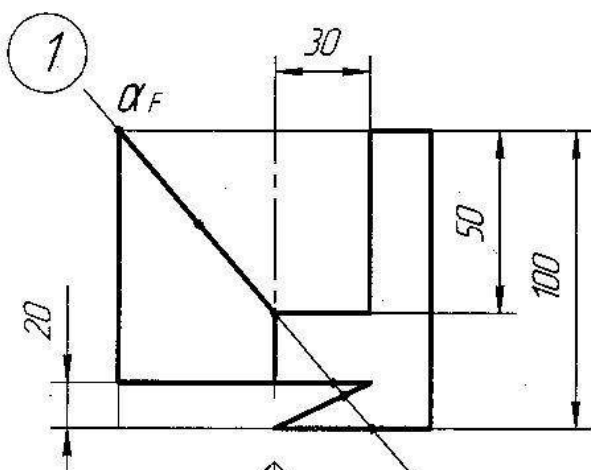


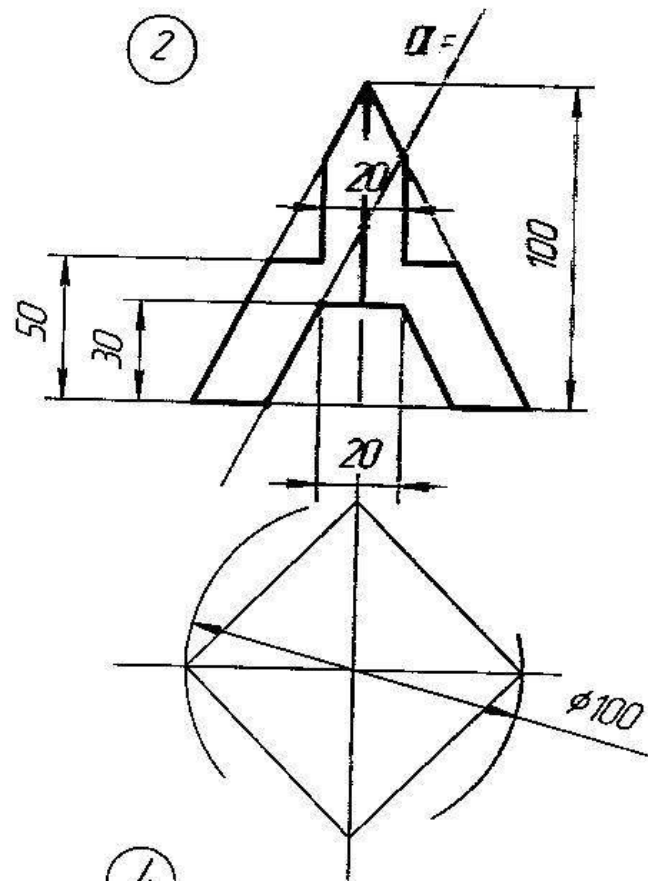
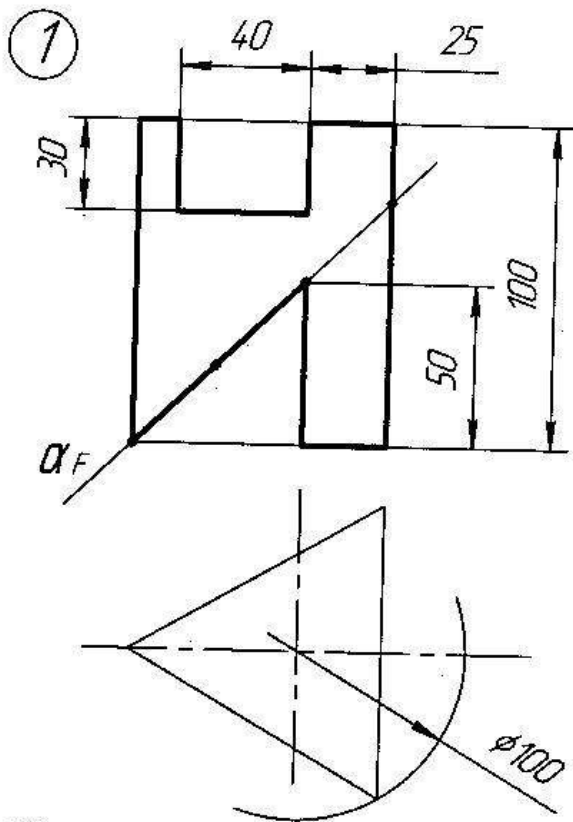




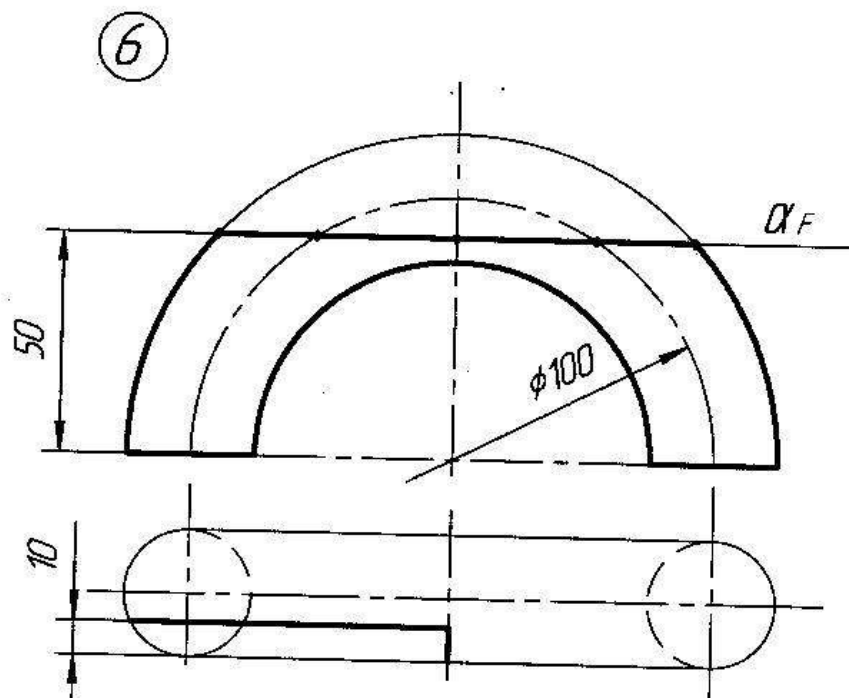
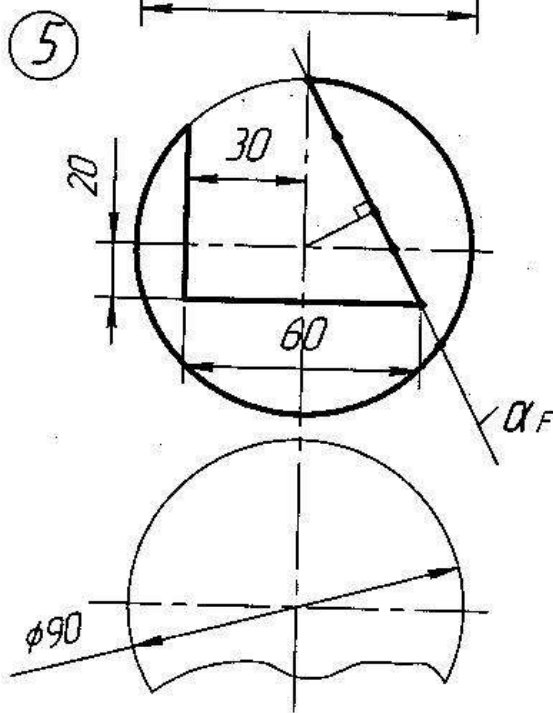
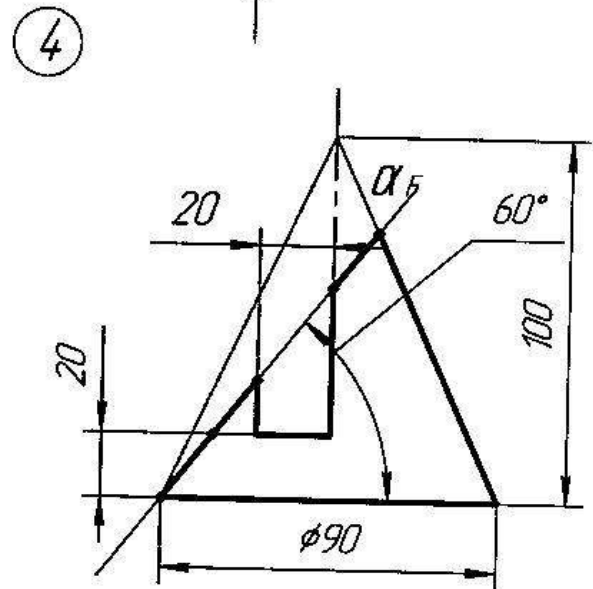
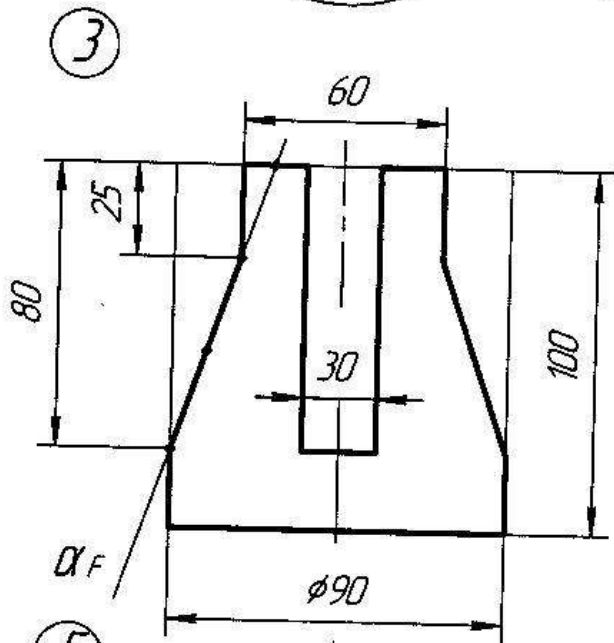
IV

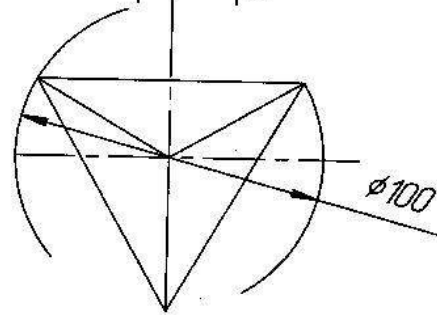
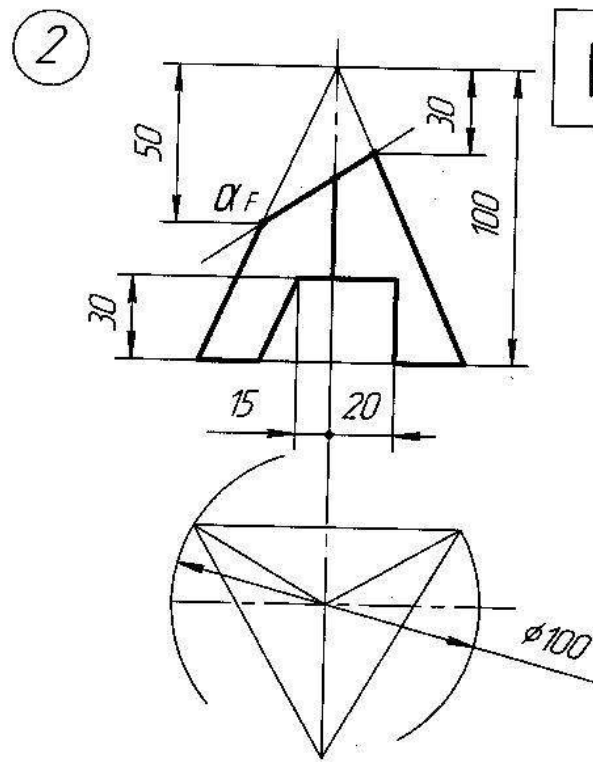
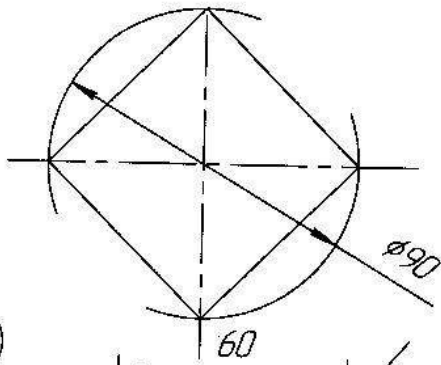
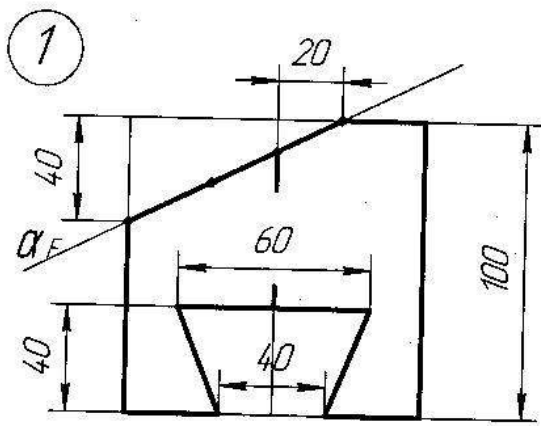




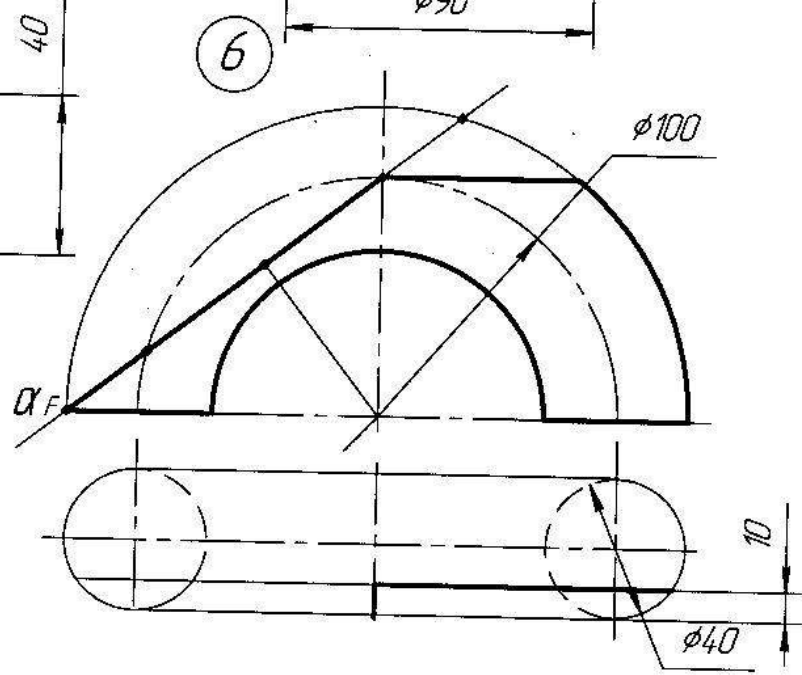
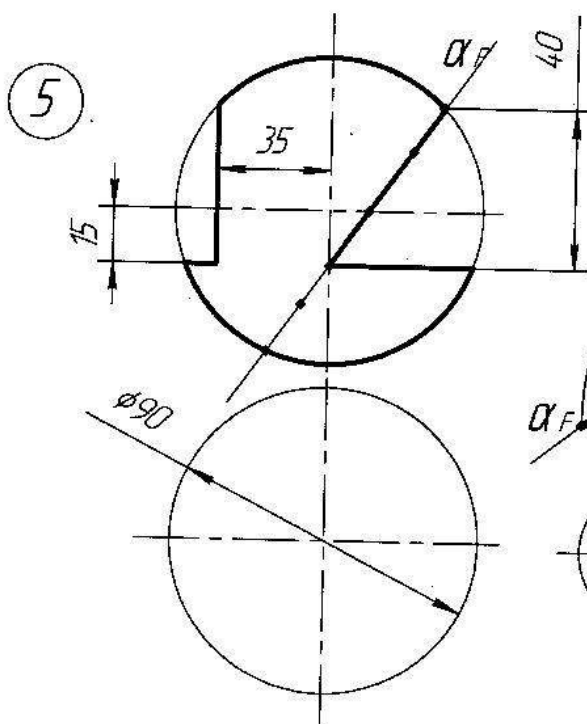
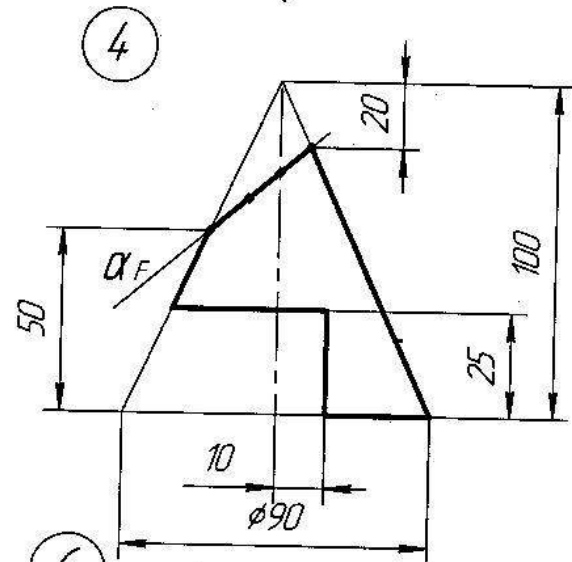
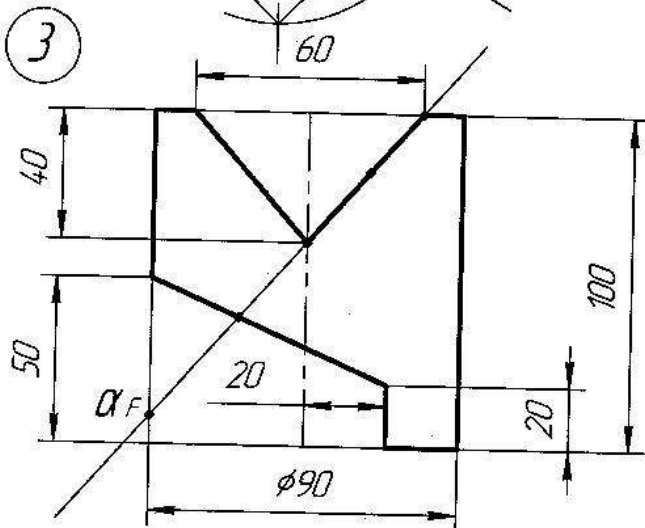


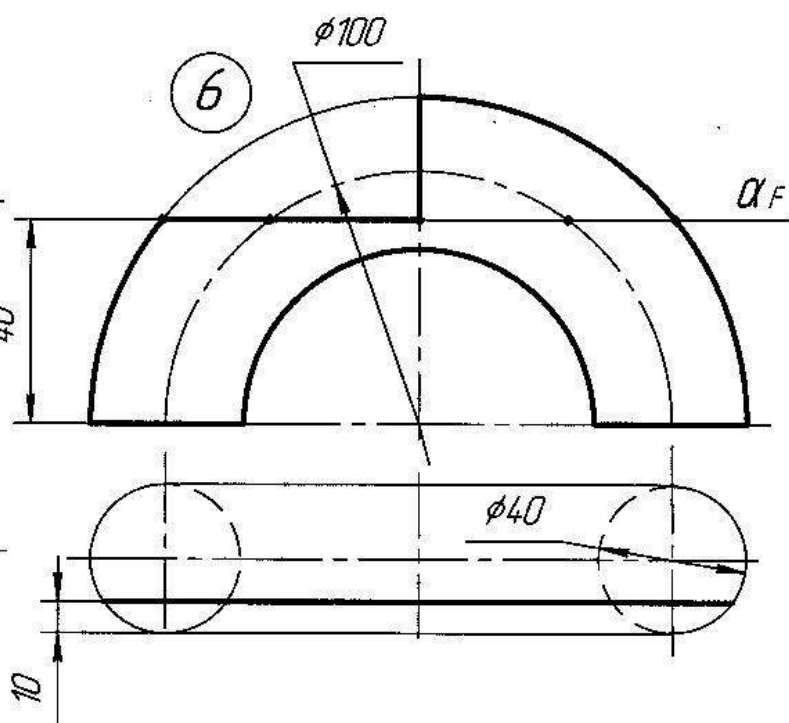
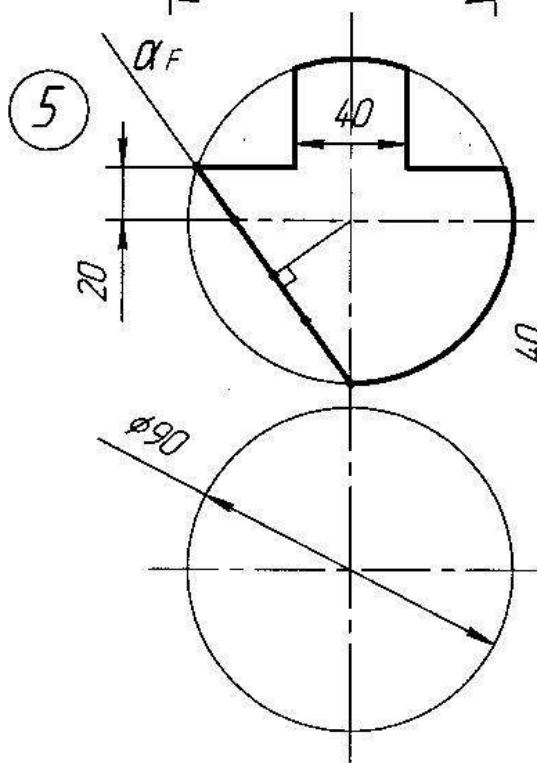
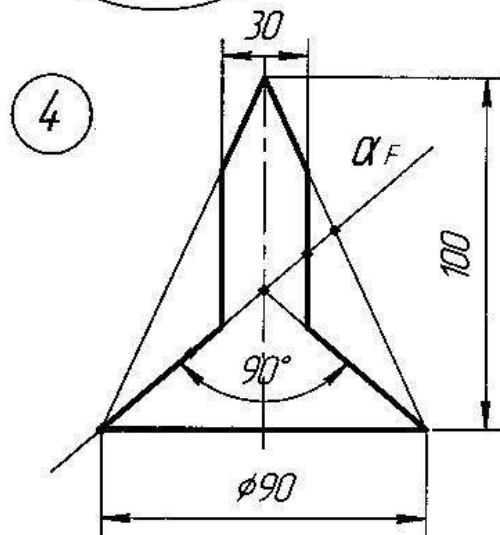
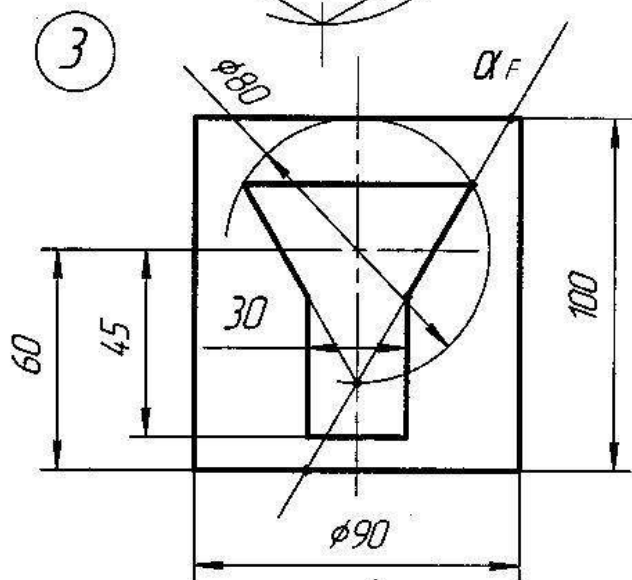
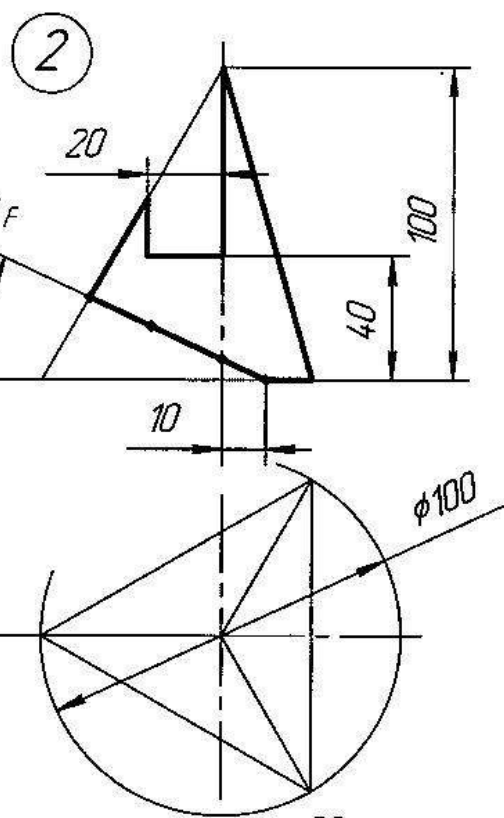
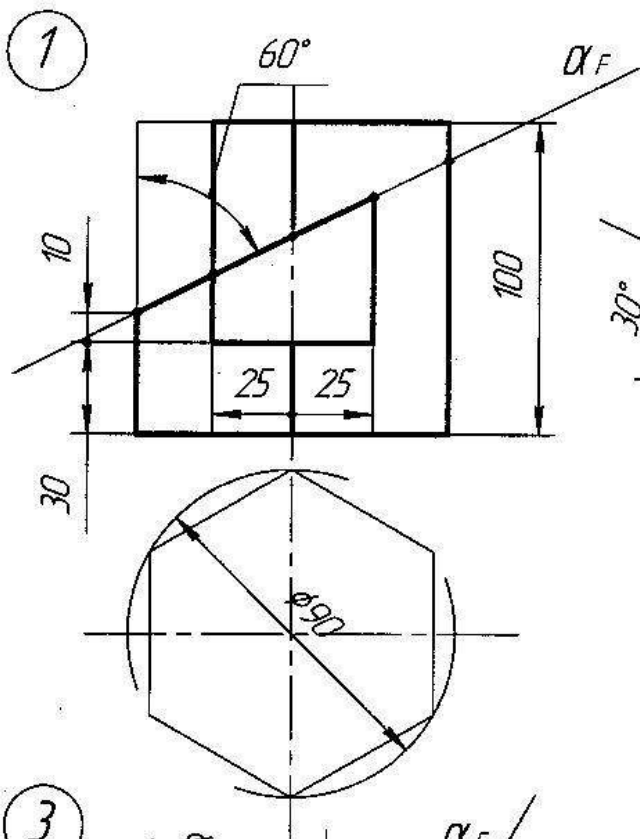
V/



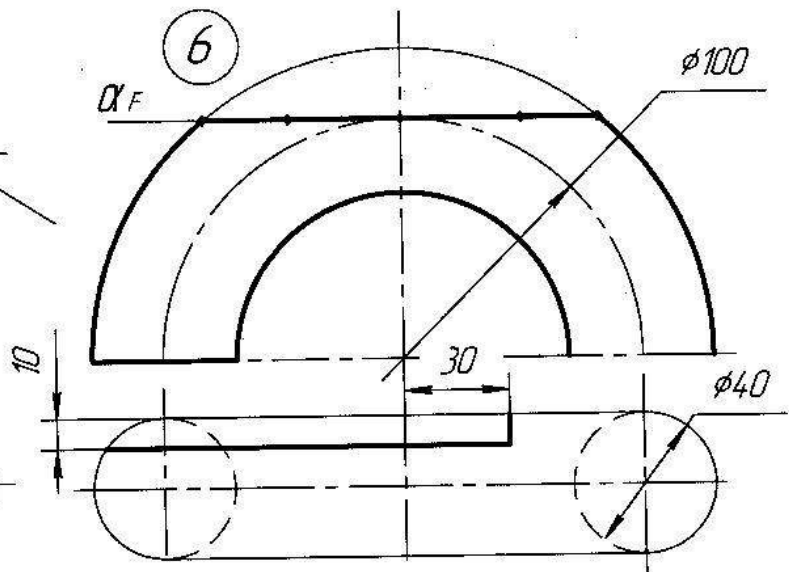
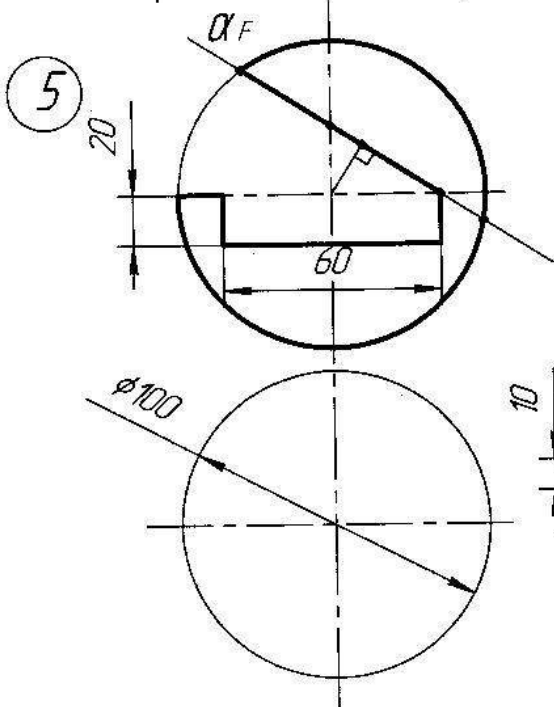
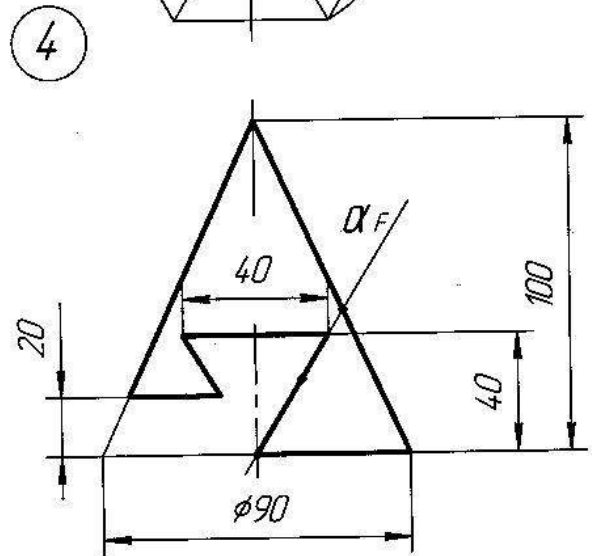
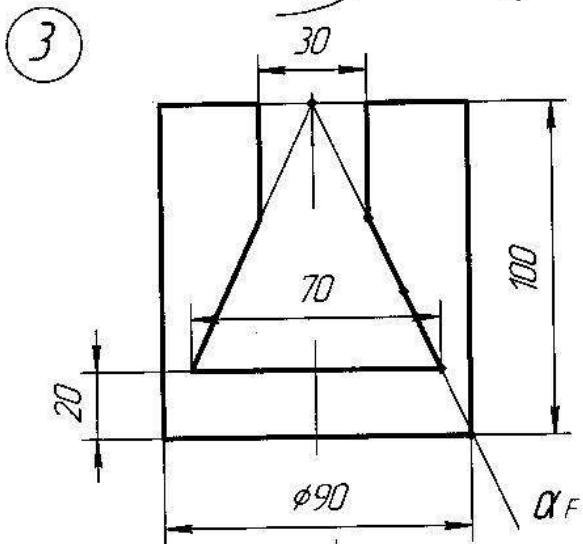
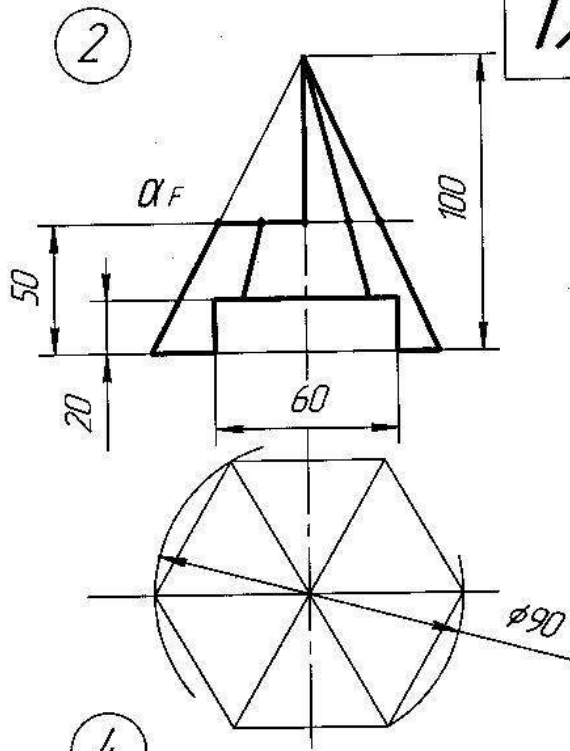
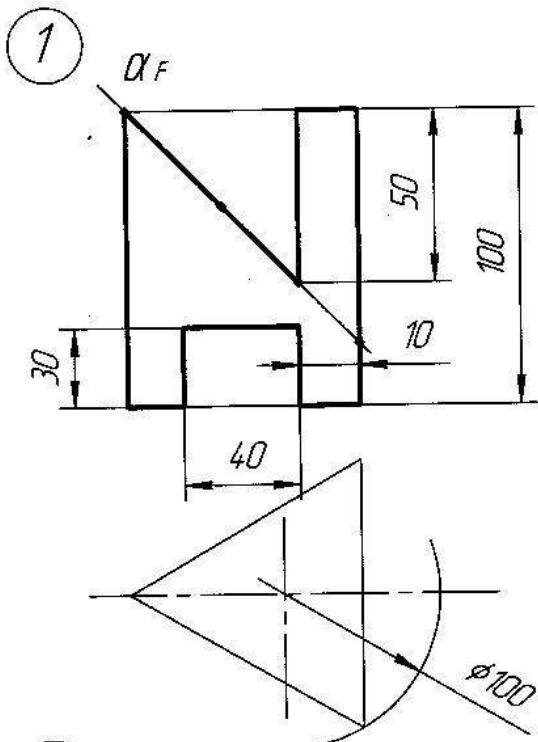


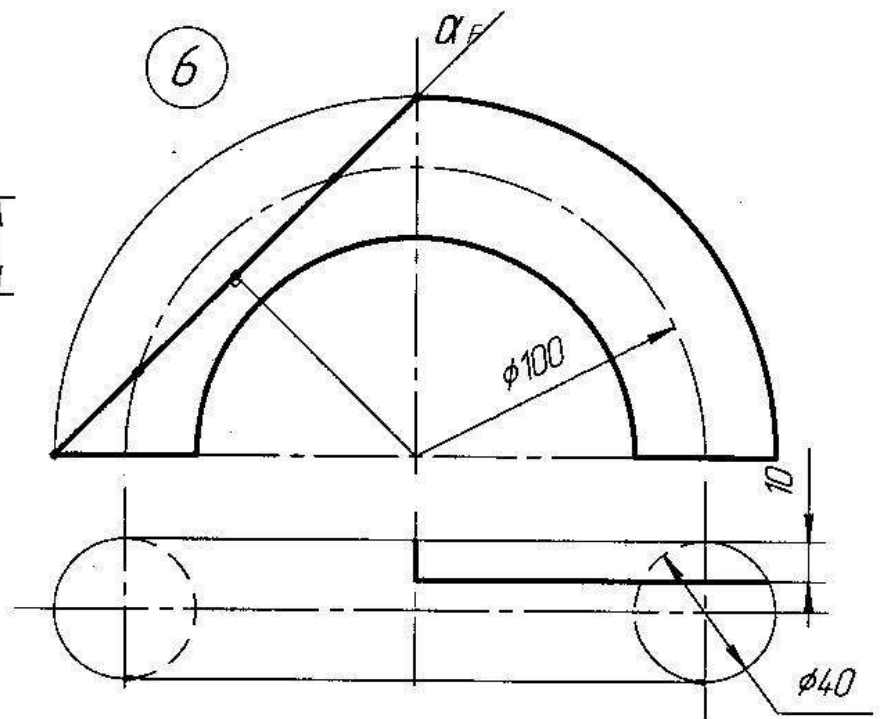
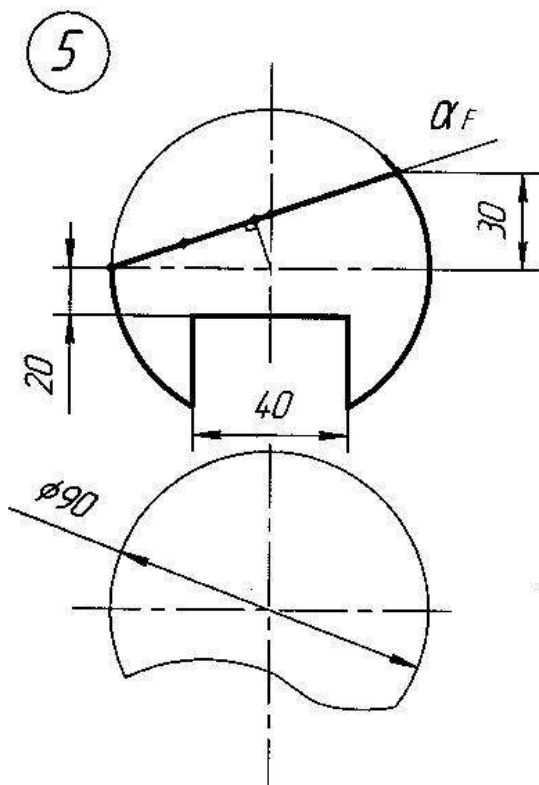
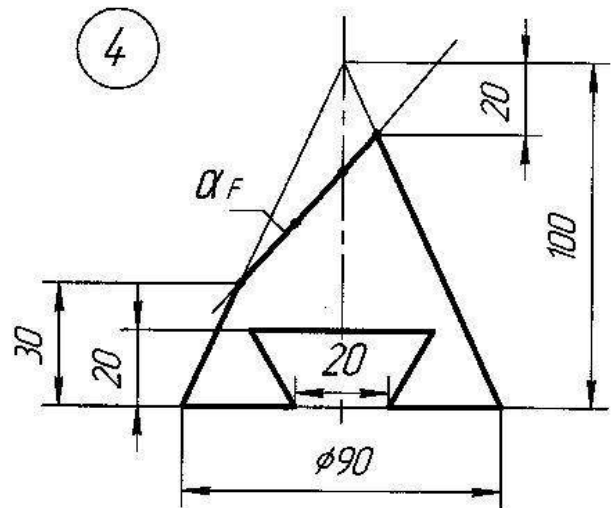
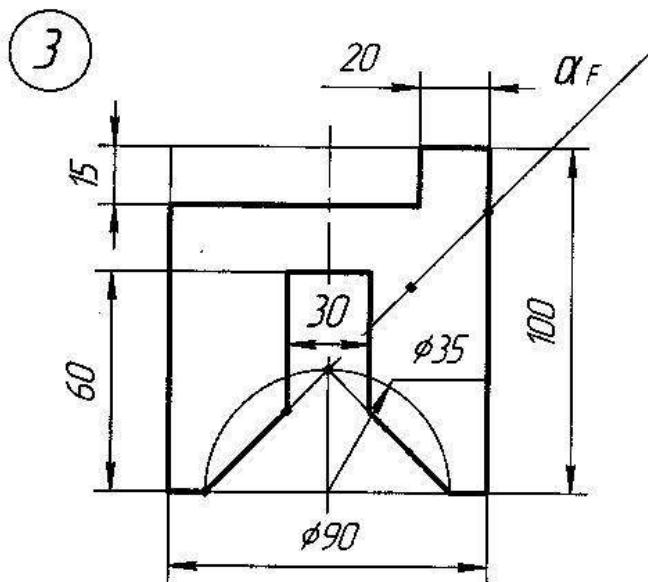
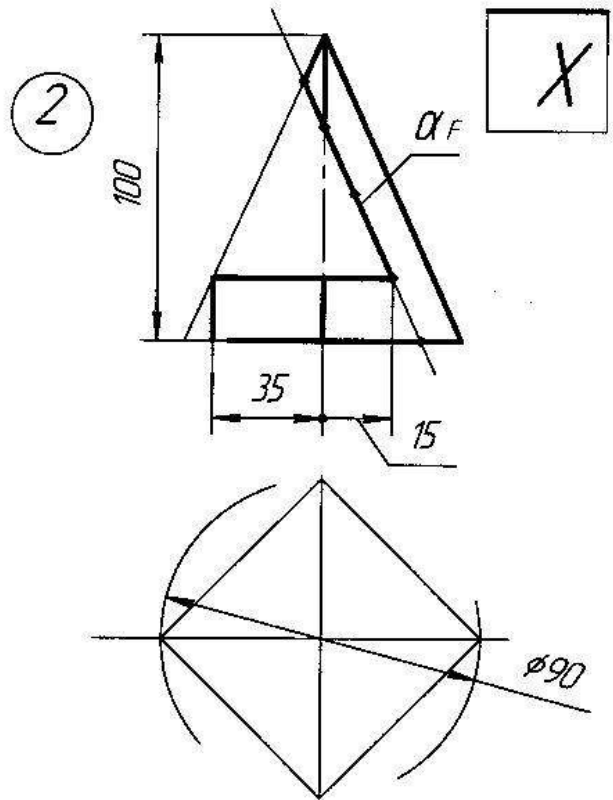
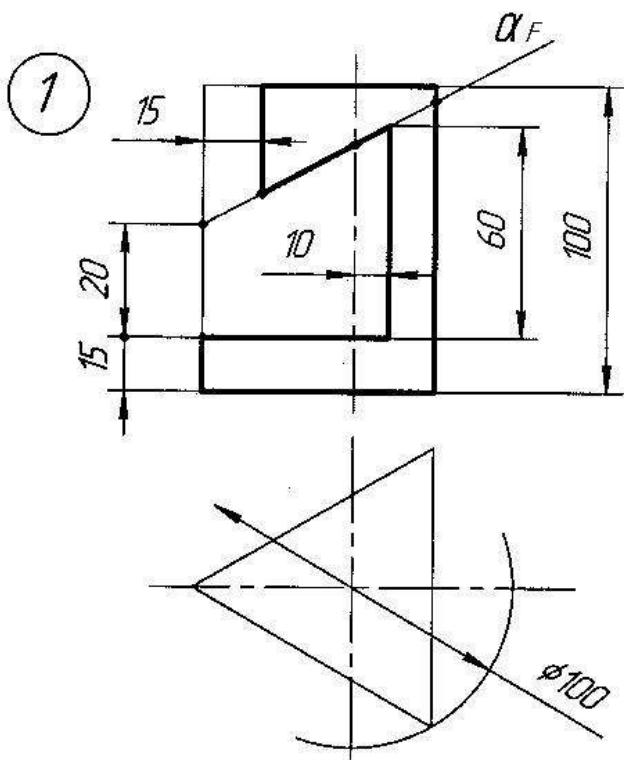
VII

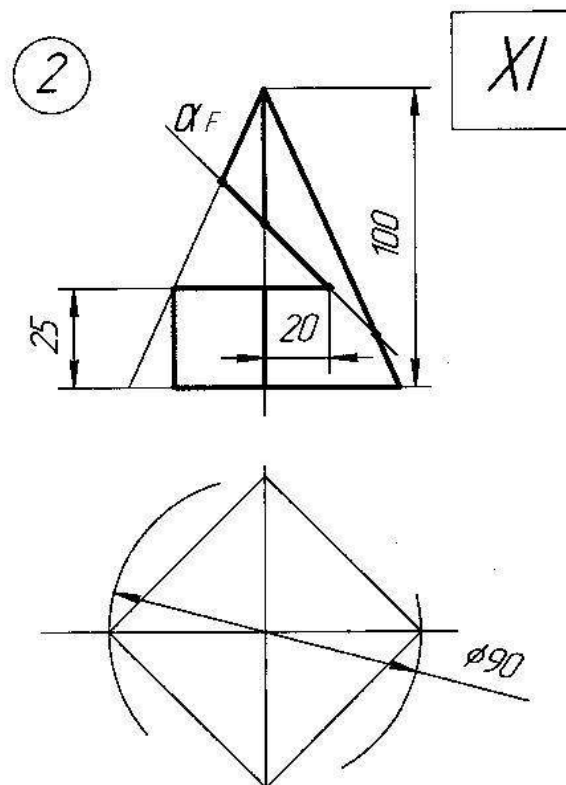
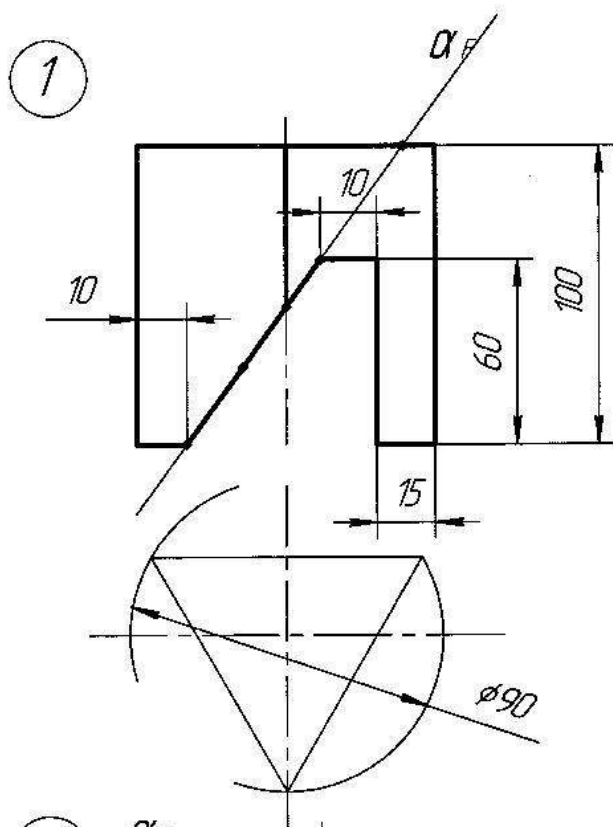




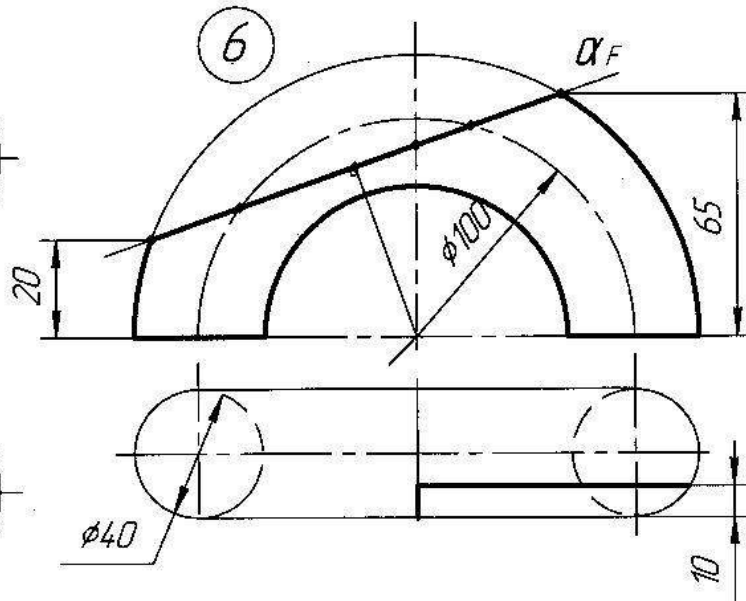
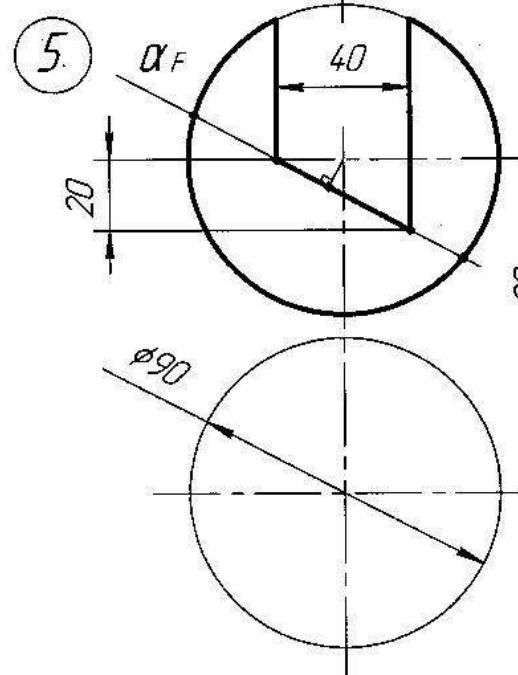
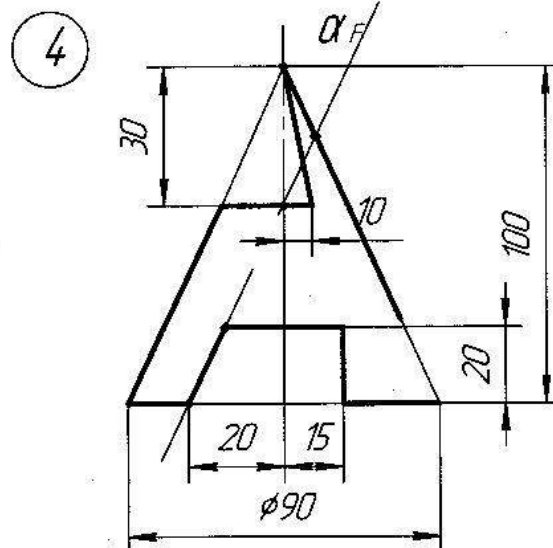
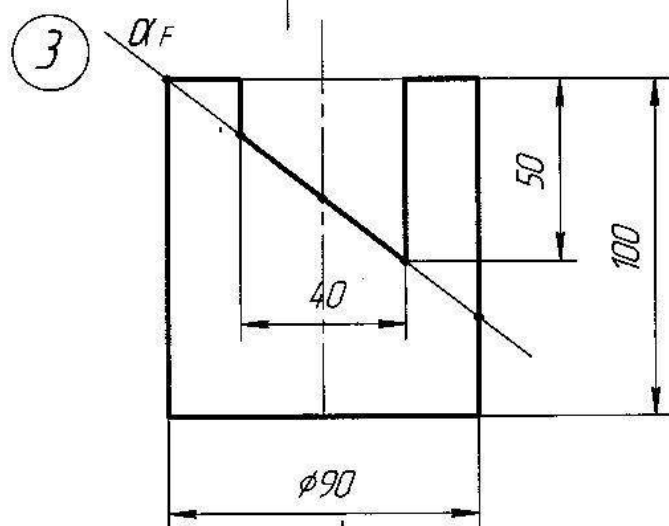
IX

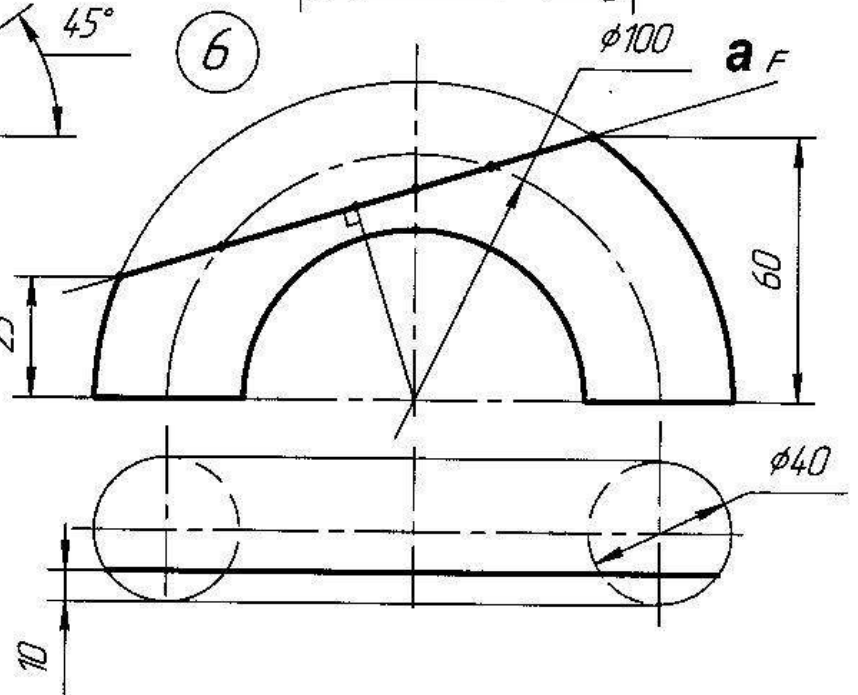
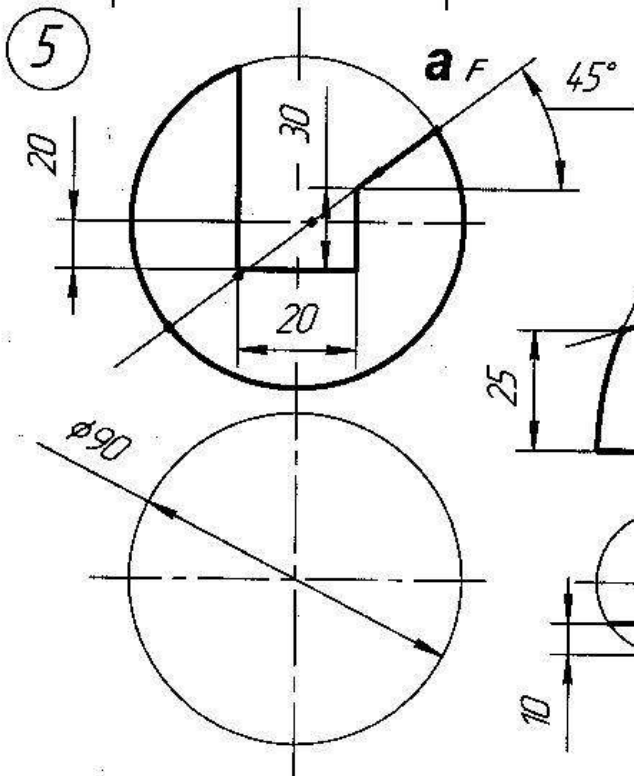
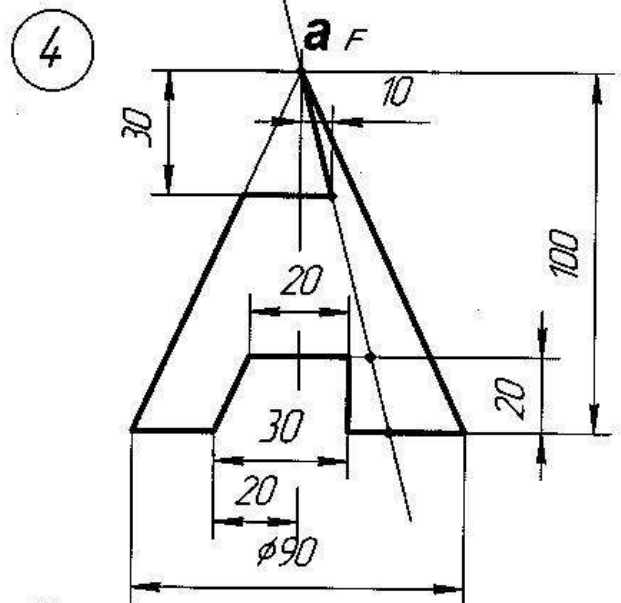
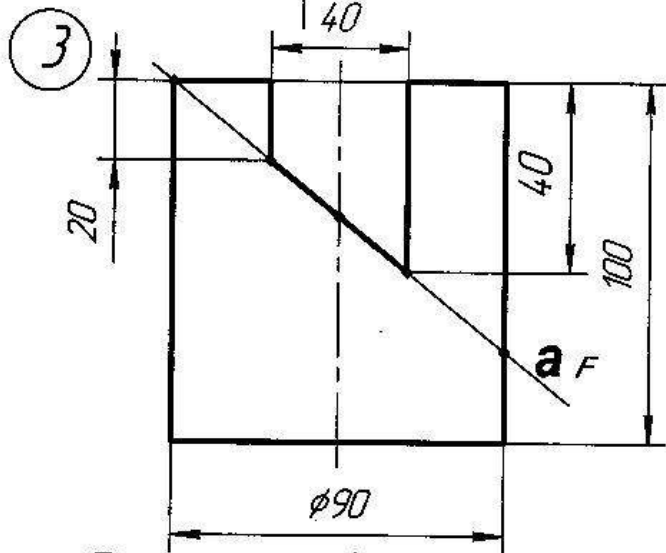
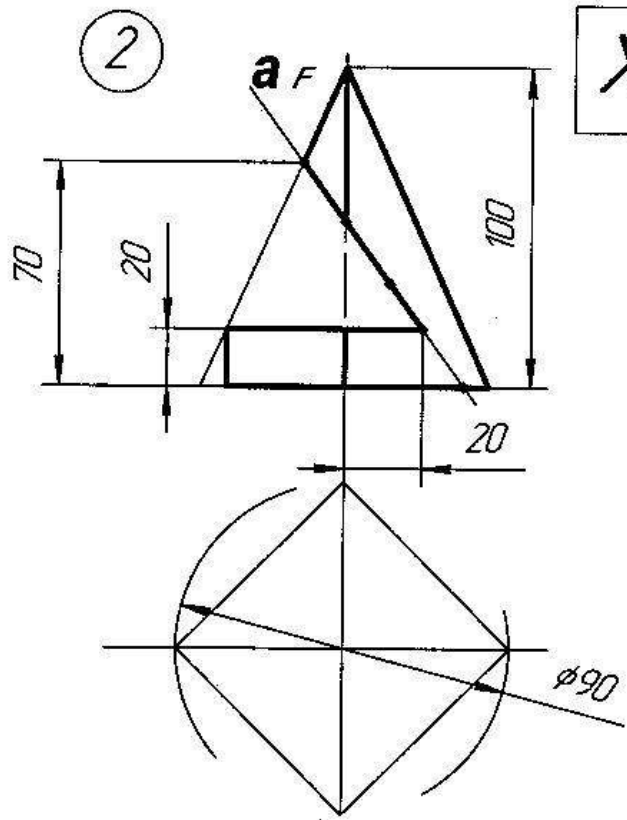
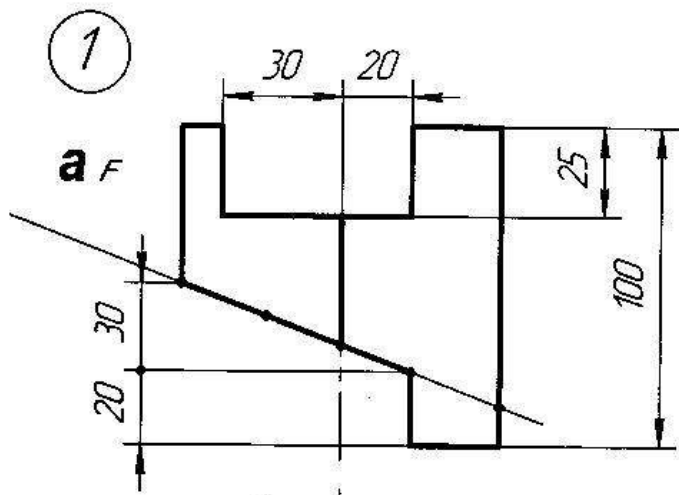




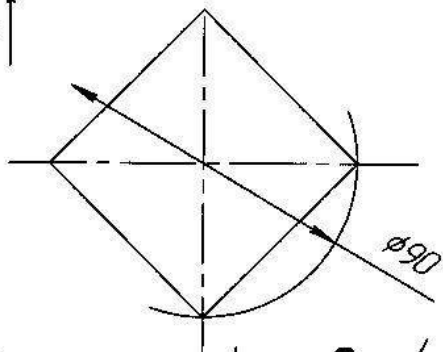
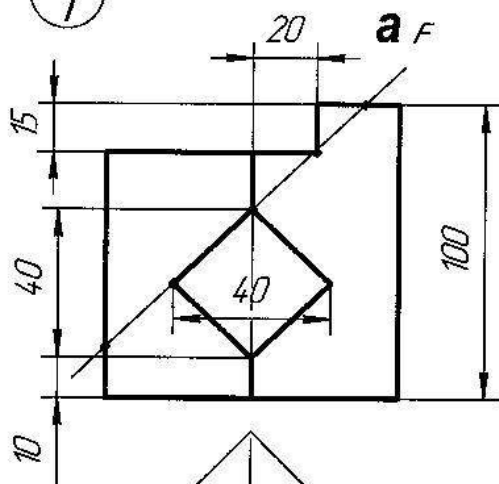


XI

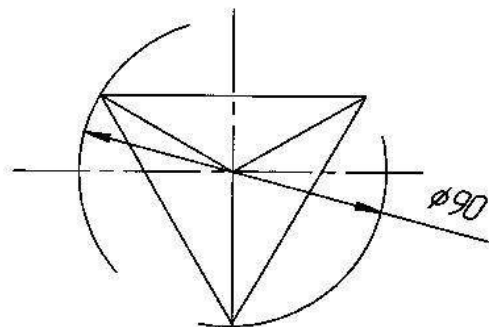
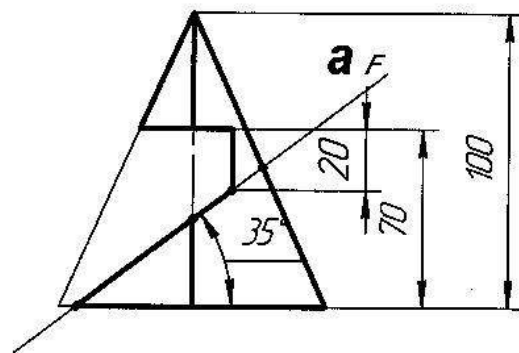




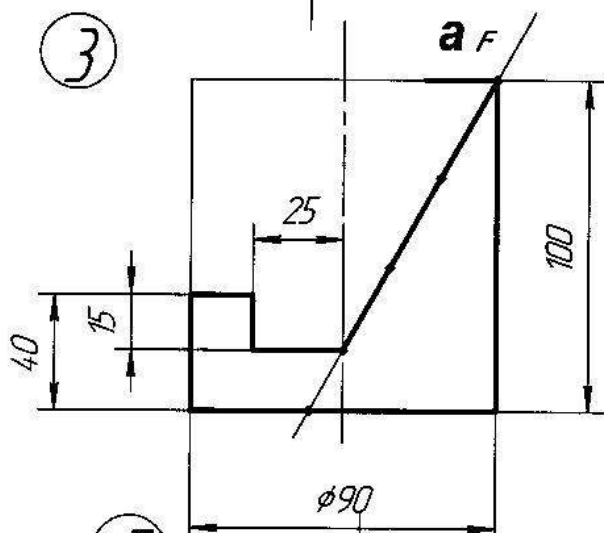
1



2

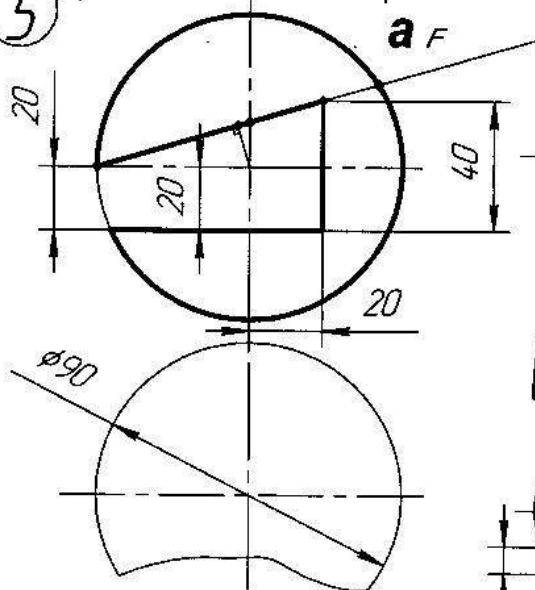


3



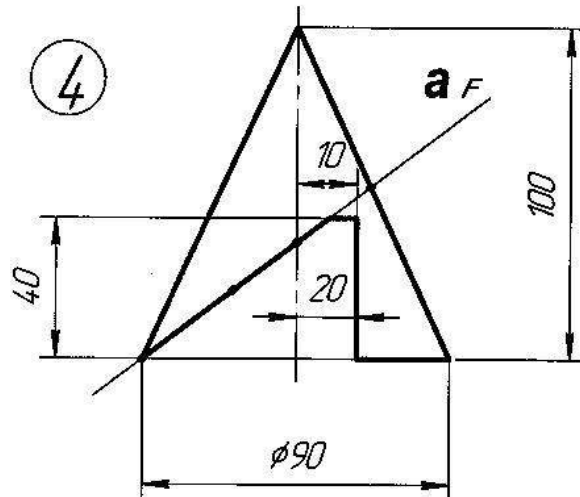
$\phi 90$

5



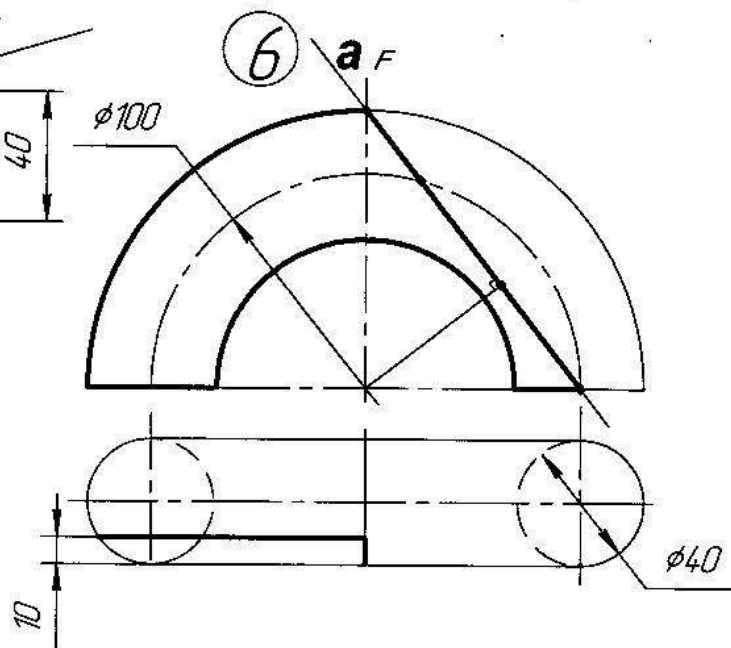
$\phi 90$

4



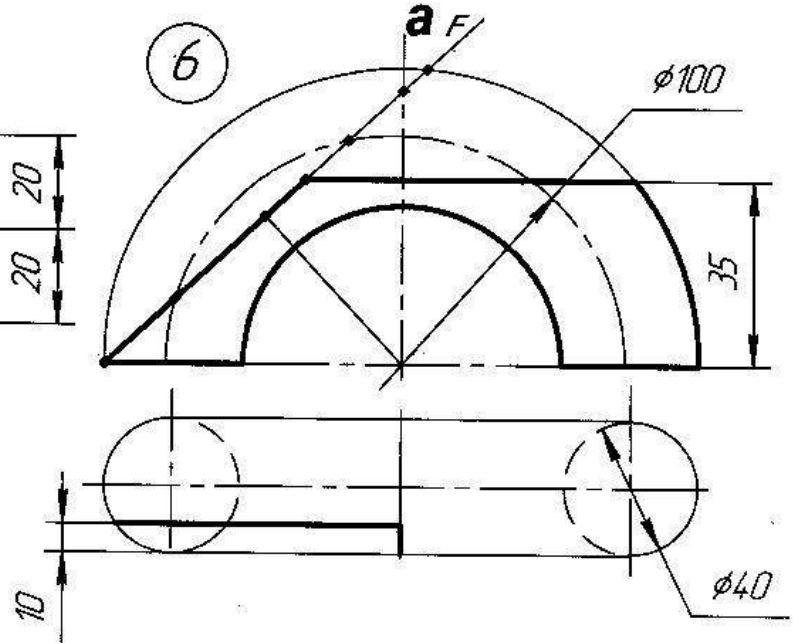
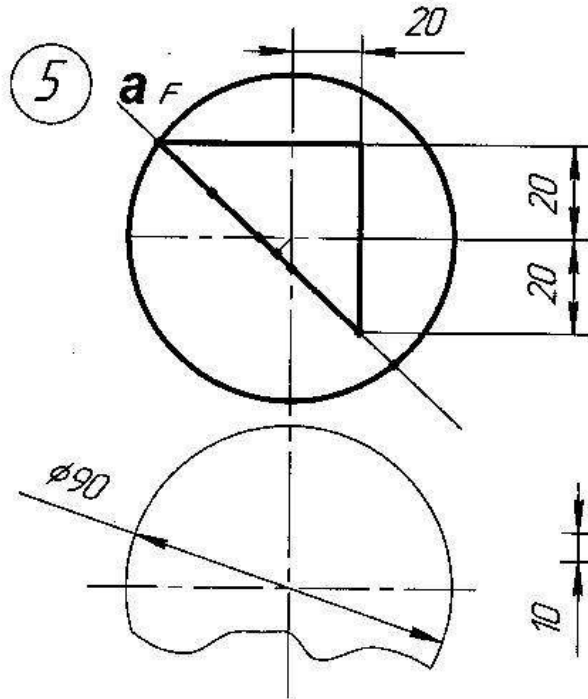
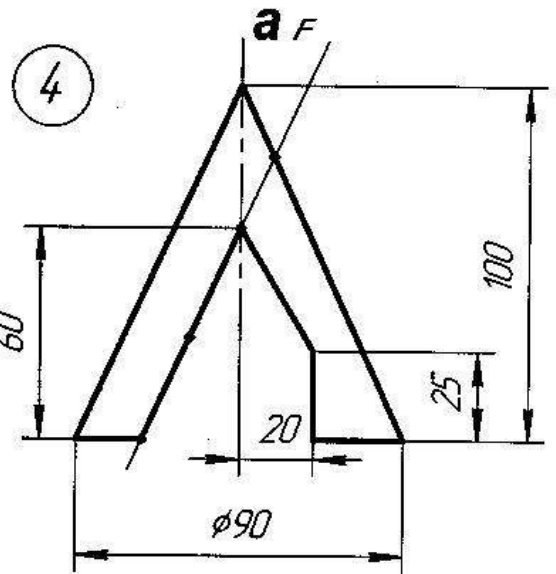
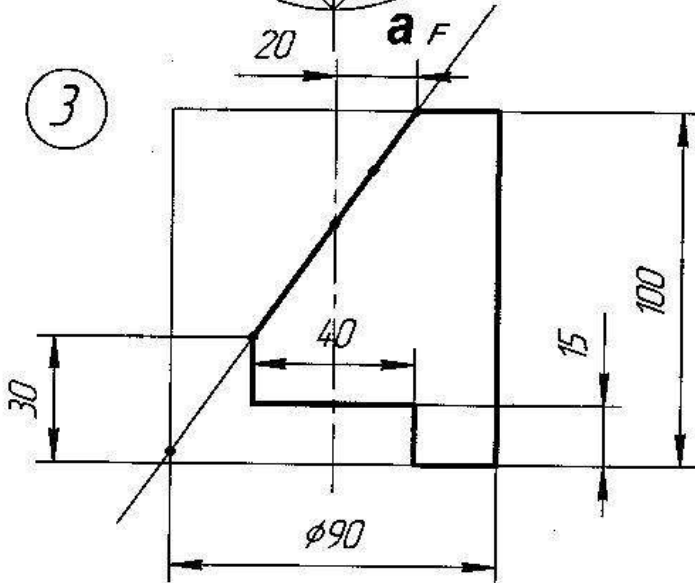
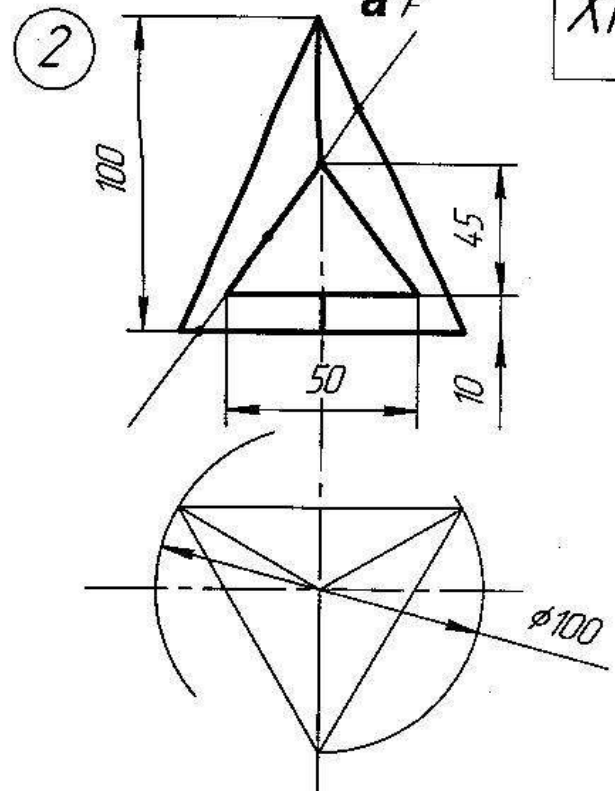
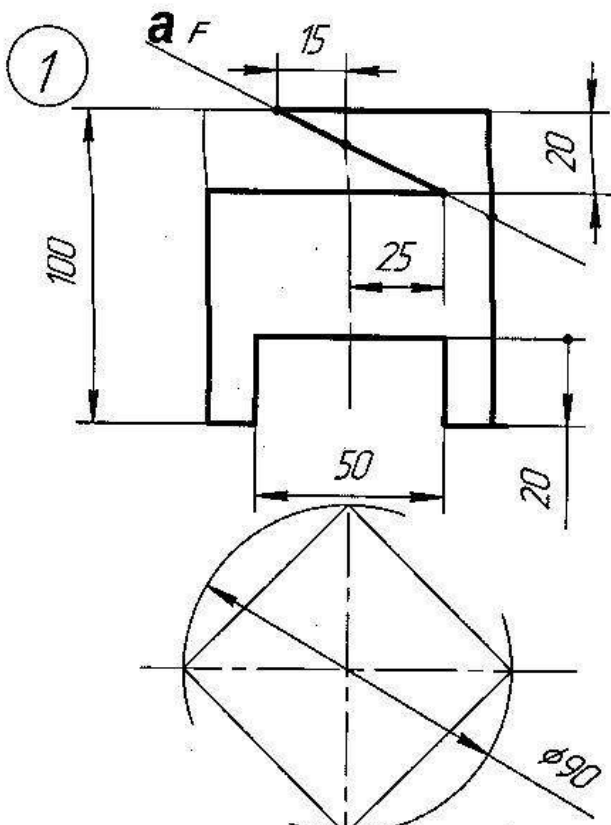
$\phi 90$

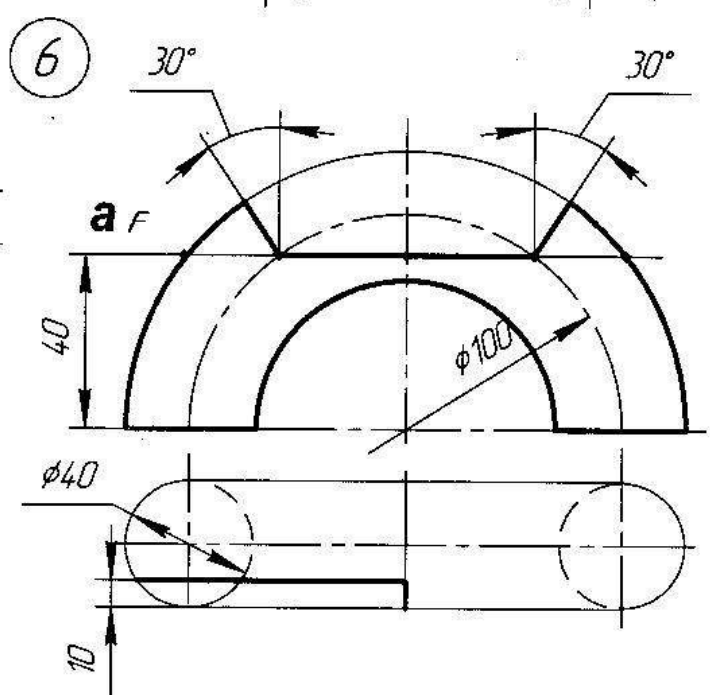
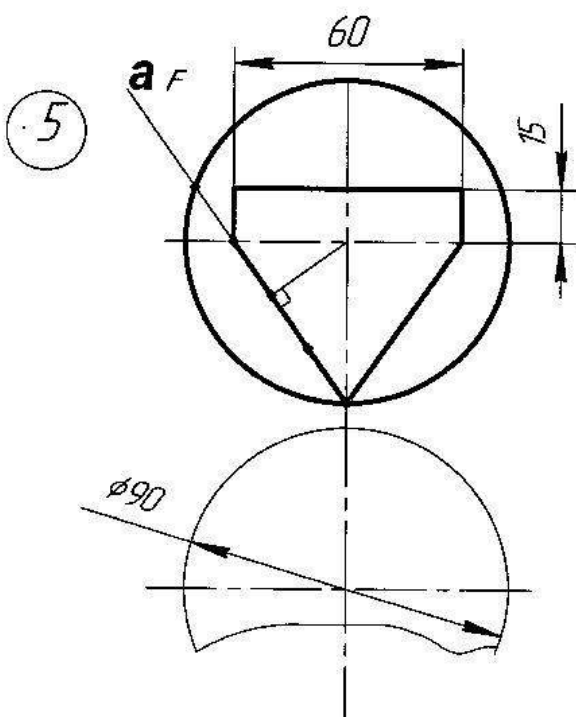
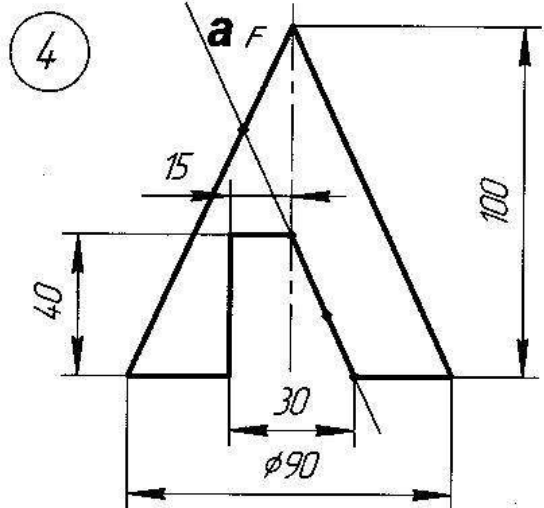
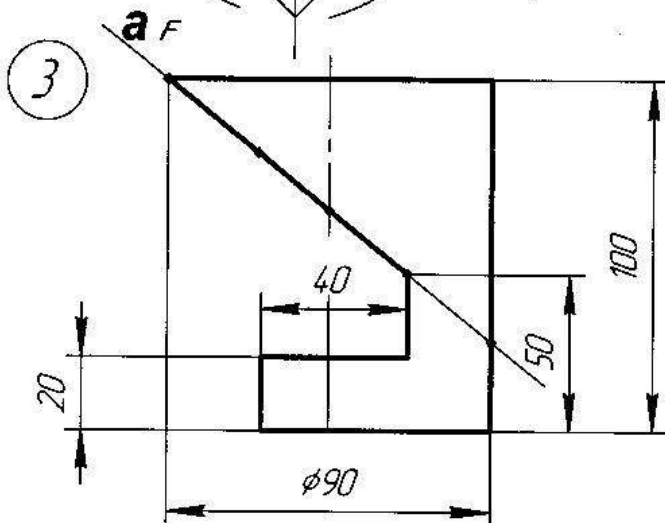
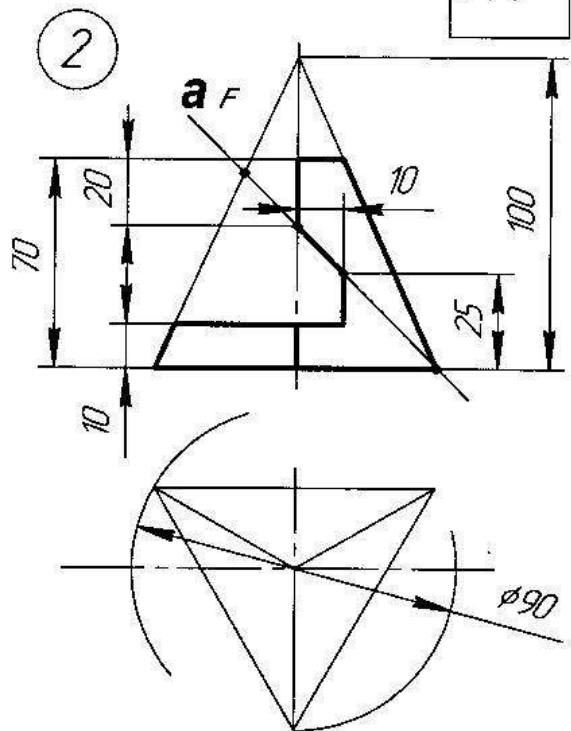
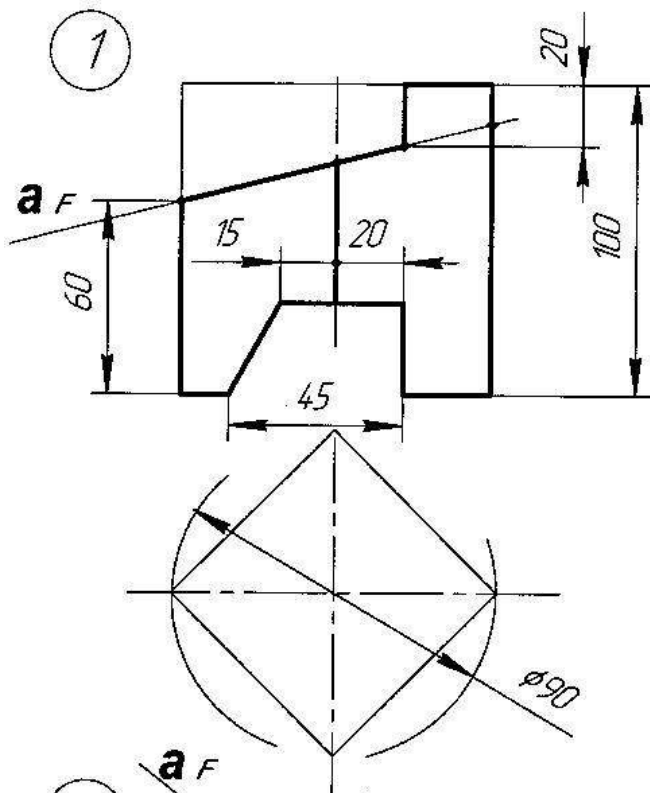
6

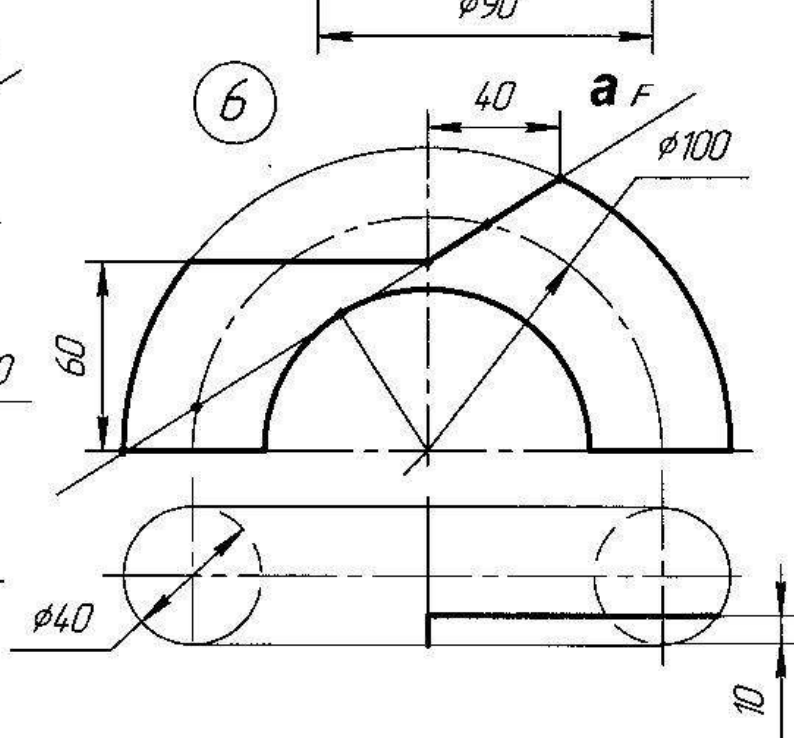
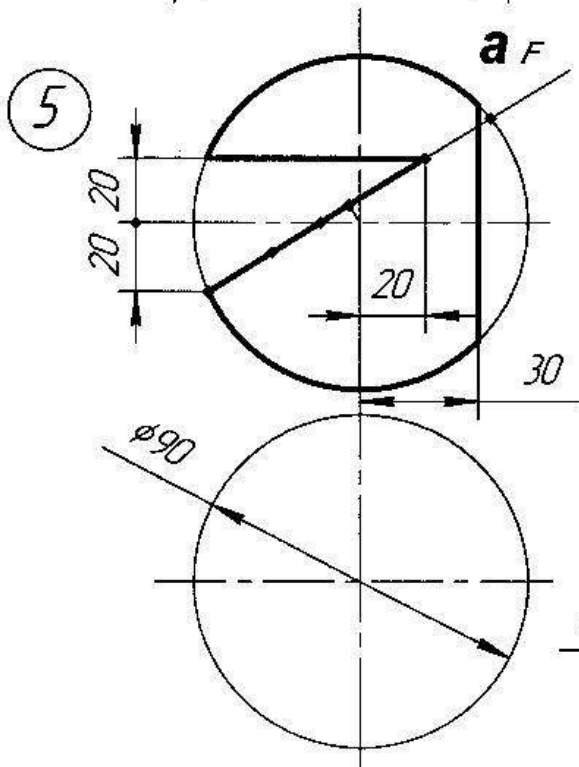
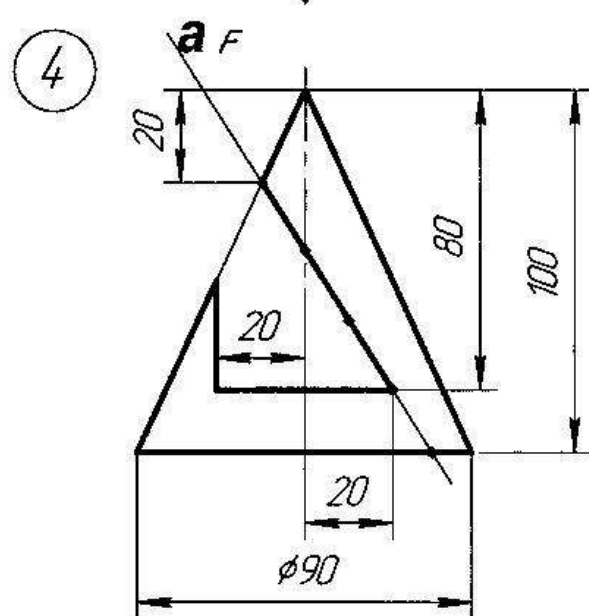
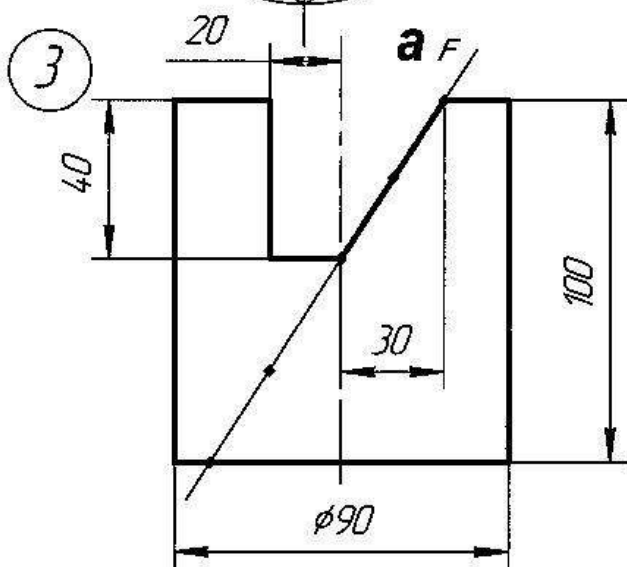
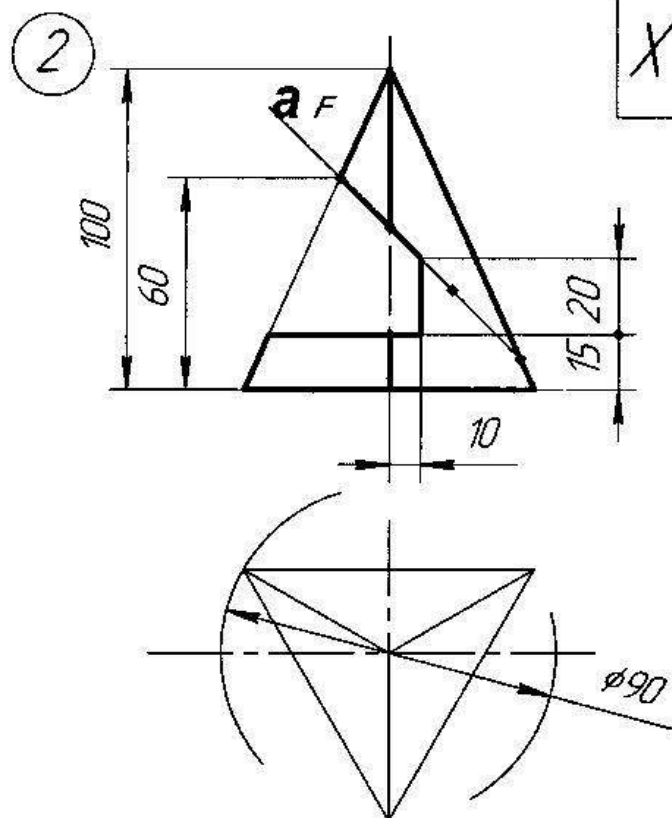
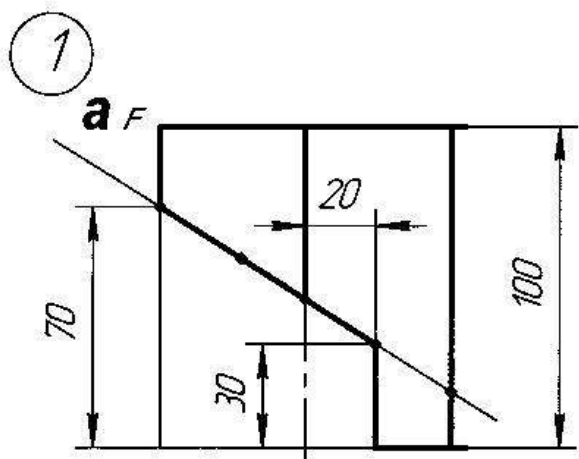


$\phi 100$

$\phi 40$







МОДУЛЬ 2

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕЛА

2.1 Комплексная цель

Усвоение кинематического способа образования поверхностей (многогранных и вращения), развитие навыков изображения геометрических тел на проекционном комплексном чертеже.

Для достижения цели модуля студент должен

знать:

- кинематический способ образования поверхностей;
- способы задания на ПКЧ линий и плоскостей частного и общего положения как изолированно, так и во взаимном расположении;
- характерные линии плоскости;
- теорему о проецировании прямого угла;
- характер сечений геометрических тел различными плоскостями;

уметь:

- изображать на ПКЧ и в аксонометрии геометрические тела (призму, пирамиду, цилиндр, конус, шар, тор) со срезами их проецирующими плоскостями и нанесением необходимых размеров;
- распознавать геометрические тела на ПКЧ в различном пространственном расположении и строить проекции точек и линий на их поверхностях.

Важность овладения теоретическими знаниями и умениями при изучении данного модуля определяется тем, что многие реальные детали машин ограничены гранными поверхностями и поверхностями вращения, которые легко получаются при помощи различной технологической обработки. Все это определяет широкое применение таких деталей в машиностроении, а следовательно, необходимость выполнения и чтения их чертежей.

Получив знания по данному модулю и развив навыки их применения, студенты по-настоящему усваивают сущность образования проекционного комплексного чертежа, создают резерв проекционных эквивалентов геометрических тел, на базе которых можно успешно развивать навыки чтения изображений технических форм; синтезировать сложные технические формы из геометрических тел как простейших конструктивов. Все это позволяет в дальнейшем овладеть трехмерным компьютерным моделированием на базе операций объединения, вычитания и пересечения.

Выполнив индивидуальные задания по данному модулю, студенты выходят на определенный уровень графической культуры:

- умение производить рациональную компоновку изображений;
- знать структуру линий и выбирать её толщину в зависимости от размеров изображения, подбирать соответствующие размеры шрифта.

2.2 Взаимное расположение прямых на ПКЧ

Прямые в пространстве могут быть параллельны, пересекаться, т. е. расположены в одной плоскости, и прямые находящиеся в параллельных плоскостях – скрещивающиеся. На чертеже одноименные проекции параллельных прямых – параллельны (рисунок 2.1а).

Для пересекающихся прямых характерно то, что соответствующие проекции точки их пересечения расположены на линии связи: фронтальная и горизонтальная – на вертикальной, а фронтальная и профильная – на горизонтальной (рисунок 2.1б).

Для скрещивающихся прямых (рисунок 2.1в) точки пересечения фронтальной и горизонтальной проекции не расположены на одной линии связи, являются конкурирующими. Так как точка 1 наиболее удалена от фронтальной плоскости проекции чем точка 2 ($y_1 > y_2$), то она будет видимой на фронтальной плоскости проекции (прямая *b* проходит под прямой *a* в направлении взгляда на плоскость *F*). Точки 3 и 4 являются горизонтально *конкурирующими*. На горизонтальной проекции точка 3 будет видимой, так как $z_3 > z_4$. Невидимую проекцию точки для лучшего понимания условно заключаем в скобки.

2.3 Теорема о проецировании прямого угла

Если одна сторона прямого угла (*a*) параллельна плоскости проекции (*H*), а другая (*b*) не перпендикулярна ей, то прямой угол на эту плоскость проецируется в натуральную величину (рисунок 2.2а).

На рисунке 2.2б дано изображение прямого угла, когда $a // H$, а на рисунке 2.2в – $a // F$. Доказательство теоремы рекомендуется сделать самостоятельно.

Задача

Дано: прямая $m (m', m'') // F$ и горизонтальная проекция прямой $n - n'$ (рисунок 2.3а), прямые m и n пересекаются в точке *A* под прямым углом; фронтальная проекция точки *D*, принадлежащей прямой $m - D'$ и горизонтальная проекция точки $B - B' \in n'$.

Необходимо построить прямоугольник *ABCD*.

Последовательность действий хорошо усматривается из чертежа (рисунок 2.3а,б).

По теореме о проецировании прямого угла определяем направление фронтальной проекции прямой $n - n''$. Затем по линии связи из точки B' находим B'' , аналогично строим точку D' (рисунок 2.3б). Исходя из параллельности противоположных сторон прямоугольника достраиваем фронтальную и горизонтальную проекцию точки *C*. Точность построения контролируем по принадлежности точек C' и C'' одной вертикальной линией связи.

2.4 Задание плоскости на ПКЧ

Сначала представим некоторую плоскость общего положения α в прямоугольной системе координат (рисунок 2.4). Линии по которым плоскость пересекает координатные плоскости *H, F, P* называются *следами* плоскости, соответственно α_h – горизонтальный α_f – фронтальный и α_p – профильный. Точки пересе

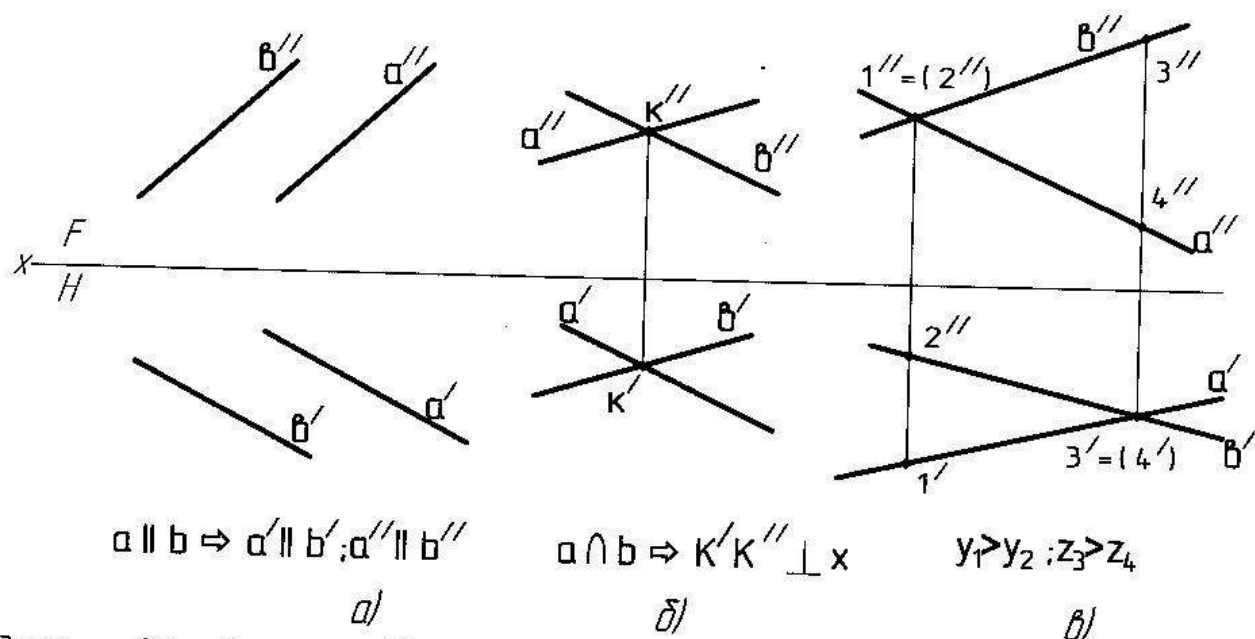
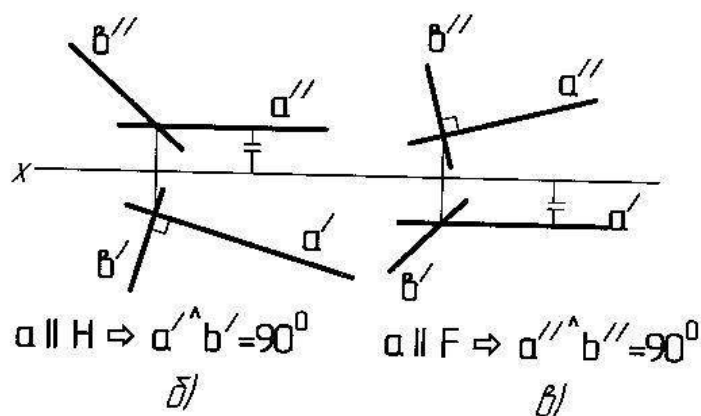
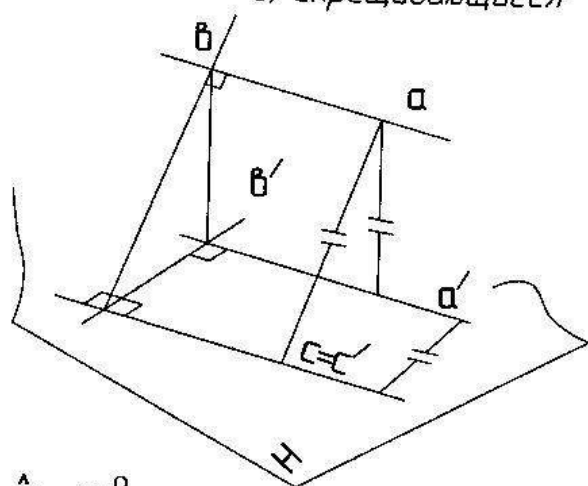


Рисунок 2.1 – Проекции двух прямых: а) параллельные, б) пересекающиеся, в) скрещивающиеся



$a \perp b \Rightarrow a' \perp b'$ и $a \parallel H$
 $c \perp b$ и $b' \perp c'$, тогда $a \perp b \Rightarrow c \parallel a, a' \parallel b'$

а)

Рисунок 2.2 – Проецирование прямого угла

Дано:

$m(m', m''); n'$

$A(A', A''); B', D''$

$AD \subset m; AB \subset n$

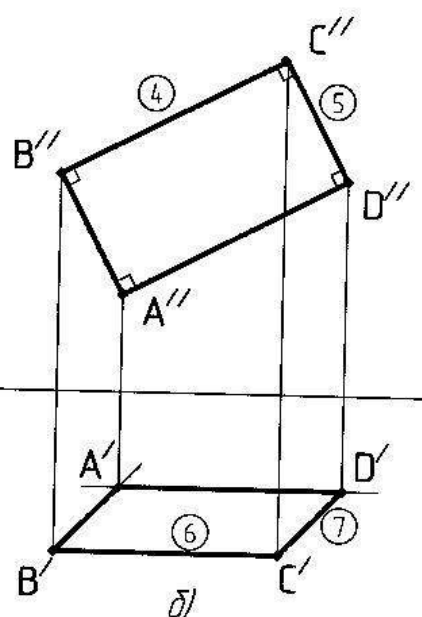
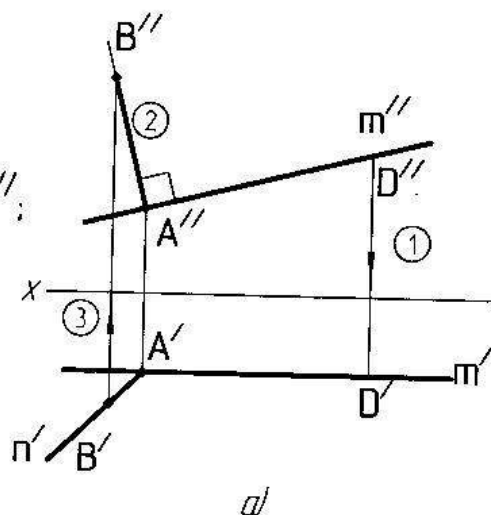


Рисунок 2.3 – Построение прямоугольника

чения следов $\alpha_x \alpha_y \alpha_z$ — *точки схода следов*. Прямые, которые принадлежат плоскости α и параллельны плоскостям проекций, называются *линиями уровня*. Соответственно, *горизонталь* — h , *фронталь* — f , *профильная прямая* — p . Заметим, что след плоскости можно представить как *нулевую линию* уровня, расположенную в плоскости проекции $h_0 = \alpha_h$. Линия уровня параллельна соответствующему следу плоскости. Линии, которые перпендикулярны к h, f и p или $\alpha_h, \alpha_f, \alpha_p$, определяют наклон плоскости к соответствующим координатным плоскостям. Линия наибольшего наклона плоскости к горизонтальной плоскости проекции еще называют *линией ската (ЛСК)*, так как по этой линии происходит перемещение объектов под действием силы тяжести, например скатывание дождевых капель воды с наклонной крыши здания. По углу наклона линии ската плоскости H определяют угол наклона плоскости к горизонтальной плоскости проекций — φ_H .

Умение строить характерные линии плоскости различным образом заданной на чертеже и определять углы ее наклона к координатным плоскостям, является необходимым условием успешного решения многих позиционных, метрических, конструктивных задач. Например, при анализе условий опрокидывания транспортного средства, находящегося на наклонной плоскости.

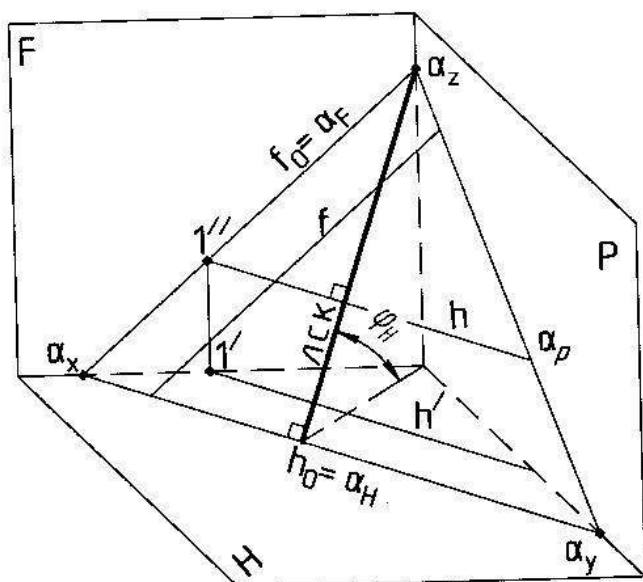
Далее проанализируем задание плоскости α на ПКЧ (рисунок 2.5):

а) тремя точками — $\alpha(A, B, C)$, б) точкой A и прямой (BC) — $\alpha(A, BC)$, в) двумя пересекающимися прямыми — $\alpha(a \cap b)$, г) двумя параллельными прямыми — $\alpha(a // b)$, д) любой плоской фигурой — $\alpha(\triangle ABC)$, е) следами — $\alpha(\alpha_h, \alpha_f)$.

Последний случай есть ни что иное как, задание плоскости двумя пересекающимися прямыми, только расположенными в плоскостях проекций. Для удобства различения следы плоскости в дальнейшем будем обозначать строчными буквами греческого алфавита с одноименным индексом, соответствующей плоскости.

Осталось только прояснить вопрос, когда плоскость считается заданной на чертеже и почему используются различные варианты ее задания. Для этого рассмотрим следующую задачу. Пусть имеем плоскость $\alpha(\triangle ABC)$ (рисунок 2.6) фронтальную проекцию точки $D-D''$, необходимо построить D' . Из школьного курса геометрии мы знаем, что плоскость задается тремя точками и точка принадлежит плоскости, если она принадлежит некоторой линии плоскости. Тогда через точку D'' и точку A'' проводим прямую, которая пересекает сторону BC'' в точке 1, затем по линии связи находим точку $1'$ и соединяем ее с точкой A' . На этой прямой в пересечении с вертикальной линией связи, исходящей из точки D'' , отмечаем искомую точку D' . Заметим, что точка лежала в пределах конкретного треугольного отсека заданной плоскости. Рассмотрим другую задачу, пусть задана некоторая произвольная точка $E(E'; E'')$, необходимо установить принадлежит ли эта точка заданной плоскости $\alpha(\triangle ABC)$. Из чертежа не просматривается принадлежность этой точки плоскости $\alpha(\triangle ABC)$, плоскость задана треугольным отсеком и в пространстве простирается неограниченно. Предположим, что точка E принадлежит плоскости α , тогда через эту точку в плоскости проводим вспомогательную прямую AE , которая в точке 2 пересекает сторону BC , строим ее горизонтальную проекцию, как и в предыдущей задаче, и видим, что E' не принадлежит $A'2'$, следовательно, точка E не принадлежит плоскости α .

Таким образом, *по заданному отсеку плоскости на чертеже можно однозначно решать вопрос о принадлежности любой точки пространства заданной плоскости*. Анализируя ранее предложенные варианты задания плоскости, можн



$\alpha_H = \alpha \cap H$; $\alpha_F = \alpha \cap F$; $\alpha_P = \alpha \cap P$
 h – горизонталь
 $h \subset \alpha$ и $h \parallel H$;
 f – фронталь
 $f \subset \alpha$ и $f \parallel F$;
 ЛСК – линия ската
 $ЛСК \perp h$ и α_H

Рисунок 2.4 – Плоскость и характерные линии на ней

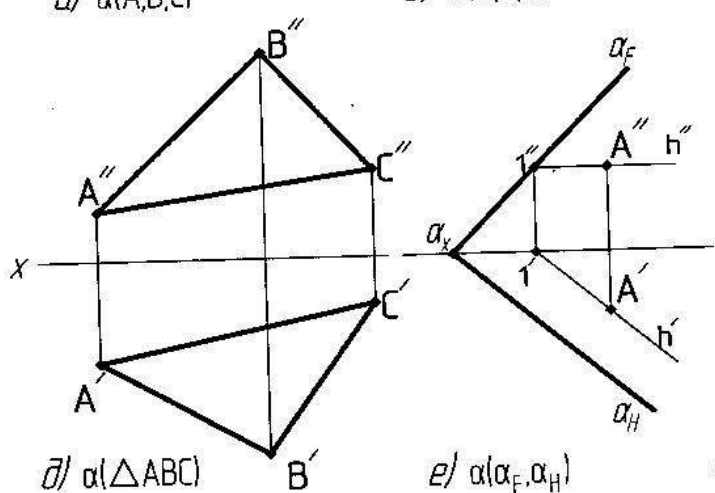
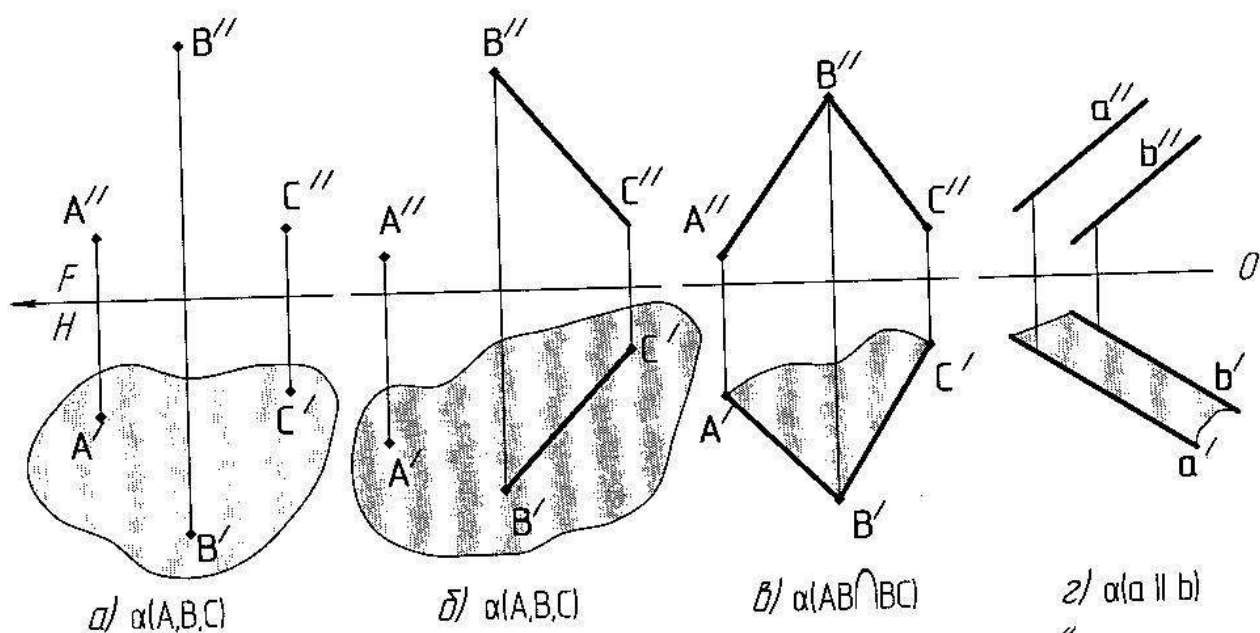


Рисунок 25 – Различные варианты задания плоскости на ПКЧ

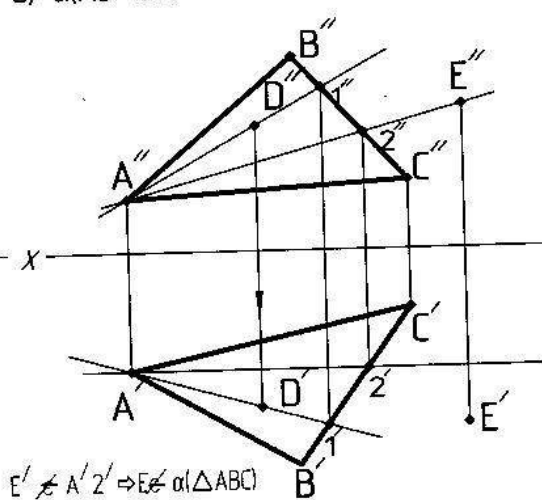


Рисунок 26 – Различные положения точек D и E относительно плоскости $\alpha(\Delta ABC)$

легко перейти от задания плоскости тремя точками к точке и прямой, двум пересекающимся прямым, треугольнику. Тот или иной вариант задания плоскости выбирается с целью наиболее рационального решения задачи.

2.5 Плоскости уровня

Плоскости, которые параллельны плоскостям проекций, называются *плоскостями уровня* (рисунок 2.7): горизонтальная – a , фронтальная – b , профильная – c .

Характерным признаком таких плоскостей является то, что две проекции есть прямые, а на третьей, если плоскость задана некоторой фигурой, плоскость проецируется в натуральную величину (НВ). Если на рисунке 2.7 a, b, c заданный треугольник является основанием некоторой прямой призмы, то легко можно представить её форму и положение в пространстве.

2.6 Проецирующие плоскости

Плоскости параллельные направлению проецирования называются *проецирующими*. Заметим, что при образовании ПКЧ используется прямоугольное или ортогональное проецирование, поэтому проецирующие плоскости занимают перпендикулярное положение относительно плоскостей проекций. Таким образом, проецирующие плоскости – это плоскости перпендикулярные к плоскостям проекций. На рисунке 2.8 a задана фронтально проецирующая плоскость – α (ΔABC) или $\alpha(\alpha_H; \alpha_F) \perp F$, а на рисунке 2.8, b – $\beta(ABCD)$ или $\beta(\beta_H; \beta_F) \perp H$. Если проецирующая плоскость задана некоторой плоской фигурой, то одна её проекция есть отрезок прямой.

2.7 Пересечение прямой и плоскости (частные случаи)

Общим элементом прямой и плоскости является точка.

На рисунке 2.9 a пересекается прямая общего положения $l(l'; l'')$ с фронтально-проецирующей плоскостью $\alpha(\alpha_H; \alpha_F)$. Плоскость α на фронтальной проекции вырождается (проецируется) в прямую, на которой должна быть расположена фронтальная проекция искомой точки пересечения. Но эта точка принадлежит и фронтальной проекции прямой $l-l''$. Такому условию будет отвечать точка их пересечения – A'' . Горизонтальную проекцию – A' находим на пересечении линии связи с l' .

На рисунке 2.9 b пересекается горизонтальная прямая $l(l'; l'')$ с вертикальной плоскостью $\alpha(\alpha_H; \alpha_F) \perp H$. Построение точки пересечения $B(B'; B'')$ хорошо видно из чертежа.

Заметим, что проецирующие плоскости обладают *собирательным* свойством, которое выражается в том, что вырожденная проекция плоскости собирает одноименные проекции фигур, расположенных в этой плоскости.

На рисунке 2.10 пересекается вертикальная прямая $l(l'; l'')$ с плоскостью общего положения $\alpha(\Delta SAB)$. Общий элемент прямой и плоскости – точка k на горизонтальной проекции совпадает с l' и принадлежит $\Delta S'A'B'$. Для построения точки K'' сначала через точку S' и K' проводим вспомогательную линию, которая пересекает сторону треугольника $A'B'$ в точке $1'$. Затем строим $S''1''$ и в пересече-

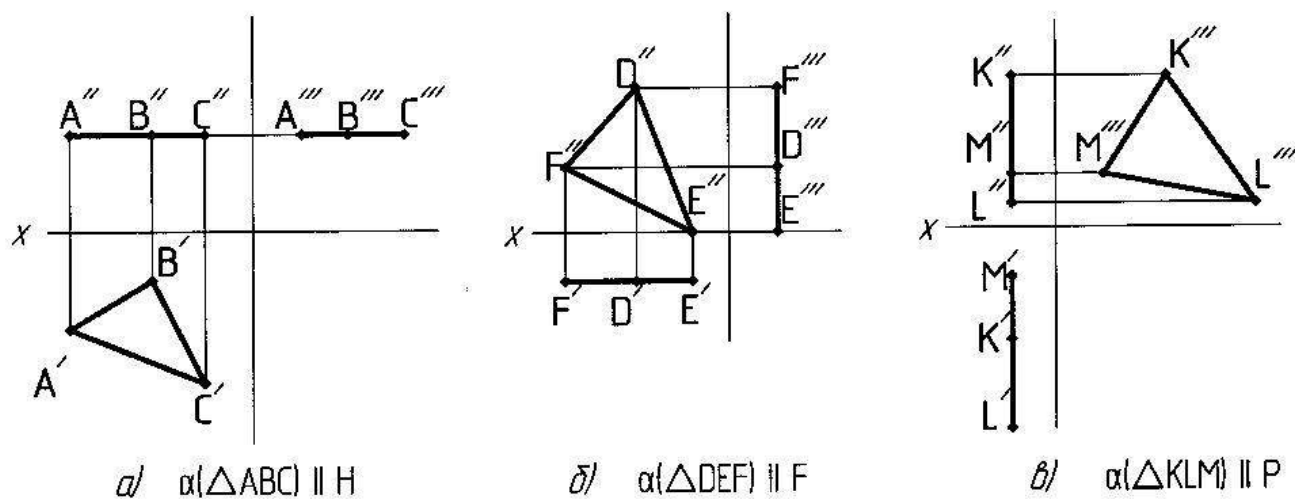


Рисунок 2.7 – Плоскости уровня

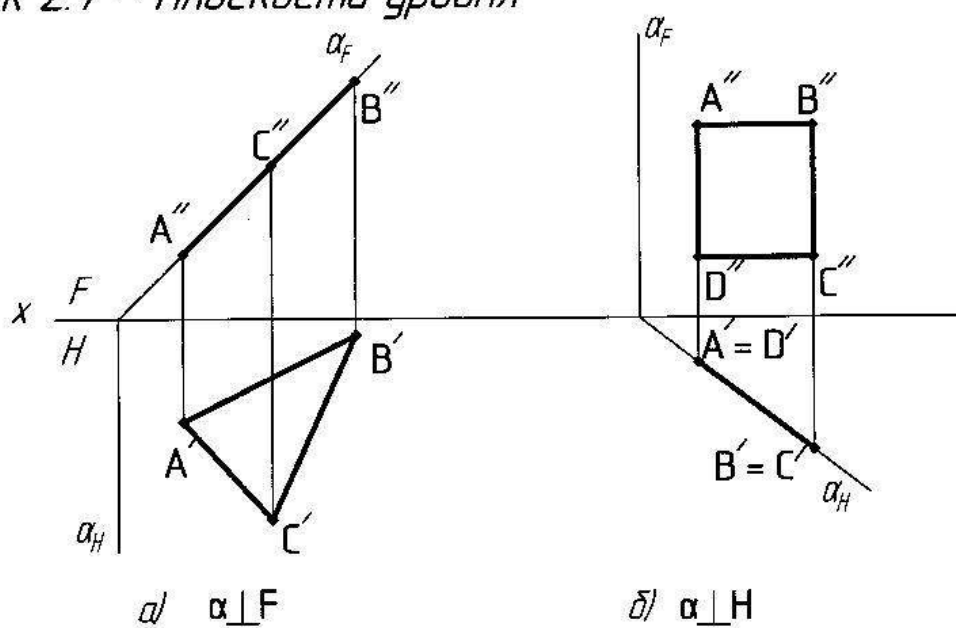


Рисунок 2.8 – Проецирующие плоскости

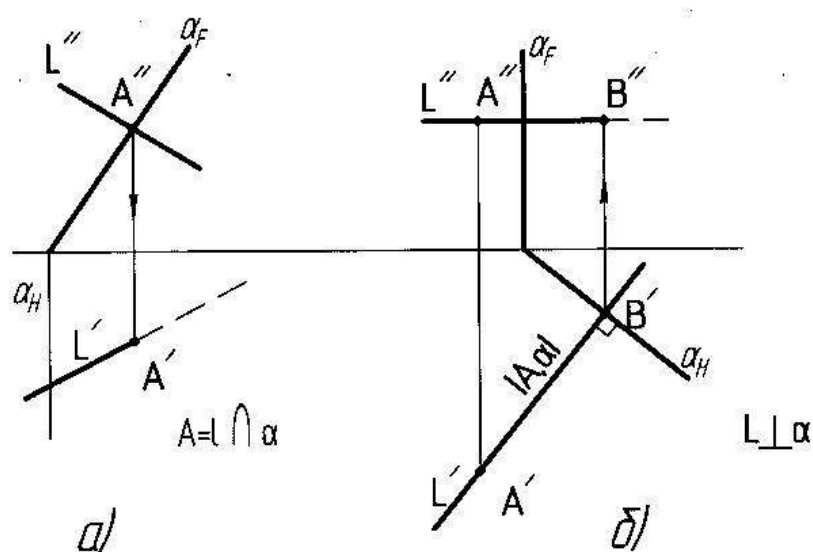


Рисунок 2.9 – Пересечение прямой и плоскости

нии с l'' отмечаем K'' . Относительную видимость прямой и плоскости устанавливаем по конкурирующим точкам.

2.8 Пересечение двух плоскостей (частные случаи)

На рисунке 2.11а представлены две фронтально-проецирующие плоскости, которые пересекаются по прямой $\perp F$, а на рисунке 2.11б – две горизонтально-проецирующие (вертикальные) плоскости $\alpha(\alpha_H; \alpha_F)$ и $\beta(\beta_H; \beta_F)$, линия их пересечения $m (m' m'') \perp H$. Известно, что если две плоскости перпендикулярны третьей плоскости, то линия их пересечения будет также перпендикулярна к ней. На рисунке 2.11в пересекаются плоскости $\alpha(\alpha_H; \alpha_F) \perp F$ и $\beta(\beta'; \beta'')$ – общего положения. Фронтальная проекция линии пересечения $1''2''$ находится исходя из собирательного свойства плоскости $\alpha(\alpha_H; \alpha_F)$. Горизонтальную проекцию – $1'2'$ строим по линиям связи из ее принадлежности β .

На рисунке 2.11г дано построение линии пересечения двух фронтально-проецирующих плоскостей $\alpha(\triangle ABC)$ и $\beta(\triangle DEG) \perp F$. Так как плоскости перпендикулярны к фронтальной плоскости проекций, то линия их пересечения $LK \perp F$ и проецируется в точку, которая на фронтальной проекции находится на пересечении вырожденных проекциях треугольников. Точки L' и K' находим в пересечении линии связи с соответствующими сторонами треугольников. Относительную видимость на горизонтальной проекции легко устанавливается из анализа высот точек A и F по отношению к другим точкам.

2.9 Параллельные плоскости

Из школьного курса геометрии известно, что плоскости параллельны, если две пересекающиеся прямые одной плоскости параллельны двум соответствующим прямым другой плоскости. На чертеже (рисунок 2.12а) параллельны одноименные проекции таких пересекающихся прямых. Если плоскости заданы своими следами – линиями их пересечения с плоскостями проекции, то на чертеже параллельны их одноименные следы (рисунок 2.12б, в, г). При этом, если плоскости являются проецирующими (рисунок 2.12б, в), то на одной из проекций усматривается расстояние между этими плоскостями.

2.10 Многогранные конфигурации

Тела, ограниченные многоугольниками, называются *многогранниками*. В данном УМК будем изучать преимущественно правильные призмы и пирамиды, т. е. основаниями таких фигур являются правильные многоугольники, а основание высоты проходит через их центр. Напомним, боковая поверхность такой призмы состоит из прямоугольников, а для пирамиды из треугольников, имеющих общую вершину. Различают модели многогранников: *каркасные, поверхностные и твердотельные* (см. рисунок 1).

Проанализируем чертеж правильной прямой четырехугольной призмы с вырезом по плоскостям $\alpha(\alpha_F)$ и $\beta(\beta_F)$ со стороны верхнего основания

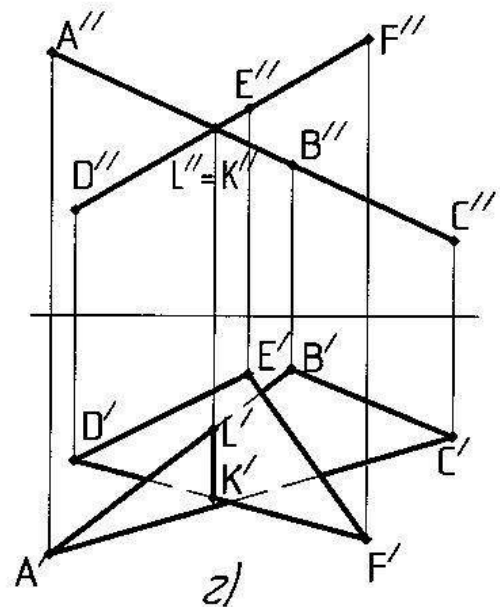
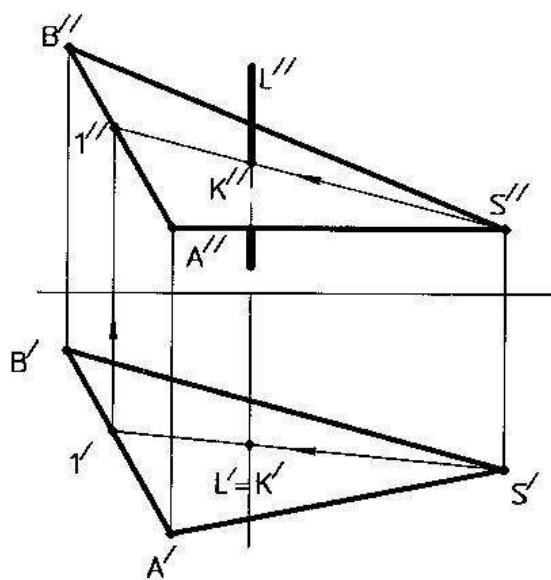


Рисунок 2.10 – Пересечение прямой с плоскостью

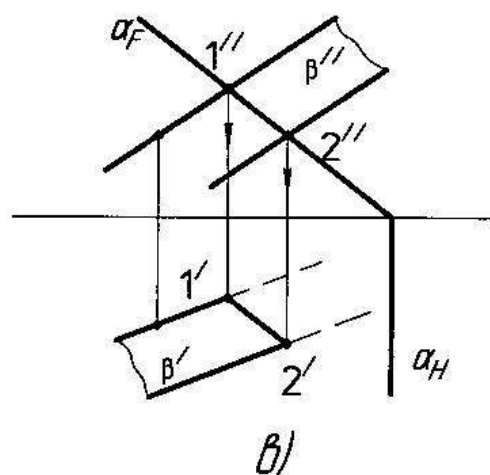
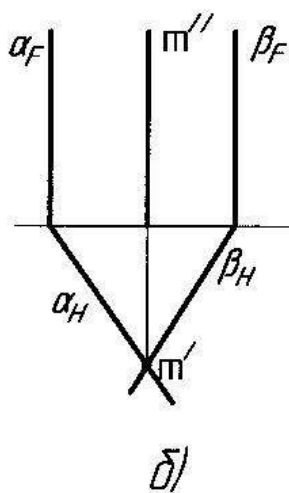
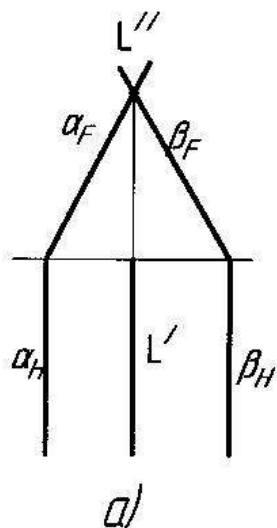


Рисунок 2.11 – Пересечение двух плоскостей

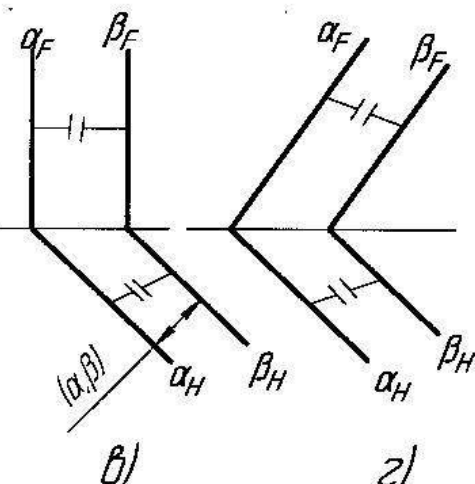
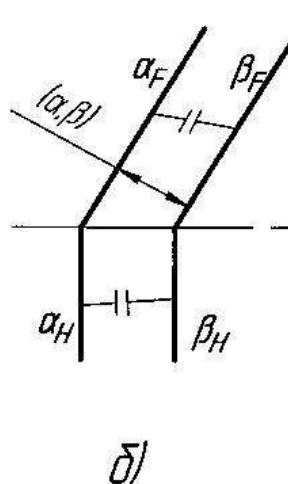
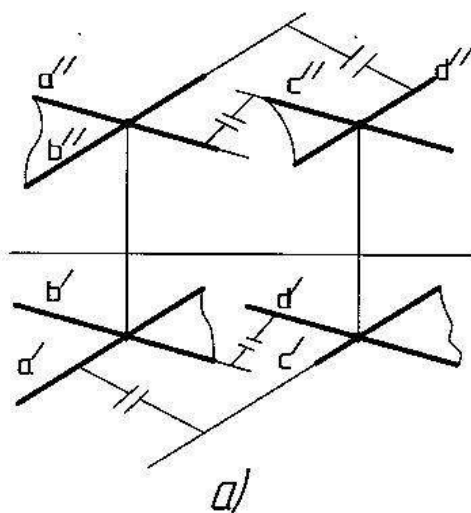


Рисунок 2.12 – Параллельные плоскости

(рисунок 2.13). Нижнее основание расположено в плоскости H . Призма имеет одну общую плоскость симметрии, проходящую на расстоянии b от F , которая будет служить базой отсчета для координат y . Представим точку зрения в этой плоскости в направлении $\perp P$. Можно представить форму призмы в виде каркасной модели (проволочной), образованной боковыми ребрами и ребрами в основании призмы, а так же отрезками, полученными в пересечении боковых граней и верхнего основания с секущими плоскостями. Тогда каркасная модель призмы включает шесть вертикальных отрезков, шесть горизонтальных, два перпендикулярных к плоскости F и четыре отрезка в общем расположении (2-3, 3-4, 4-3₁, 3₁-2₁). Если представить поверхностную модель призмы, то она образована четырьмя вертикальными плоскостями (боковые грани), двумя параллельными горизонтальными (основания), одной наклонной $\alpha(\alpha_F)$, перпендикулярной к плоскости F и одной профильной $\beta(\beta_F) // P$, которая, как следствие, $\perp F$ и H . Рекомендуется изобразить каждую прямую и плоскость призмы тремя проекциями. Заметим, что умение начертить каждую отдельную прямую или плоскость на комплексном чертеже, свидетельствует о доскональном представлении формы призмы. Фронтальная и горизонтальная проекции призмы позволяют представить фигуру в объёме и визуализировать её в аксонометрии. В данном случае – косоугольной фронтальной диметрии, как наиболее наглядной. И только после того, как по заданным проекциям будет представлена форма фигуры в пространстве, можно переходить к сознательному построению профильной проекции. Для начала в соответствии с условием задачи (основание призмы расположено в горизонтальной плоскости проекции), строим оси x , y и z после совмещения координатных плоскостей в одну из них $xOz - F$. Тогда, плоскость симметрии призмы на профильной проекции будет проходить на расстоянии b от оси z , в которой расположена точка зрения в направлении $\perp P$. Профильную проекцию призмы можно построить, получив профильные проекции каждого отрезка, снимая координаты y относительно фронтальной плоскости проекции. Однако в чертежной практике используется *безосный чертеж*, когда положение осей не указывается, а отсчет координат y ведется от предметной (локальной) системы координат, которая связана непосредственно с проецируемым объектом. Опираясь на свойство параллельного проецирования о том, что параллельный перенос объекта проецирования относительно плоскости проекции или плоскости проекции относительно объекта проецирования, не влияет на величину и форму самой проекции, тогда расстояния между проекциями устанавливаются исходя из размера формата листа, на котором выполняется чертеж, обеспечения места для нанесения размеров и надписей. Поэтому нет необходимости в указании точки пересечения осей, из которой описываются дуги окружностей, по которым как бы осуществляется перенос точек на профильную плоскость проекций. Для этих целей используется постоянная прямая чертежа, проведенная под углом 45° , применение которой оправдана при изображении несложных деталей и при компьютерном решении некоторых задач.

Дадим некоторые пояснения к построению **натурального** вида сечения призмы в плоскости α . Так как секущая плоскость $\alpha \perp F$, то **фигура**, ограниченная пятиугольником на F проецируется отрезком, а на **горизонтальную** плоскость с искажением. Площадь горизонтальной проекции **равна натуральной** величине умноженной на $\cos \varphi$. Длина сечения определяется **длиной отрезка** – фронтальной проекции

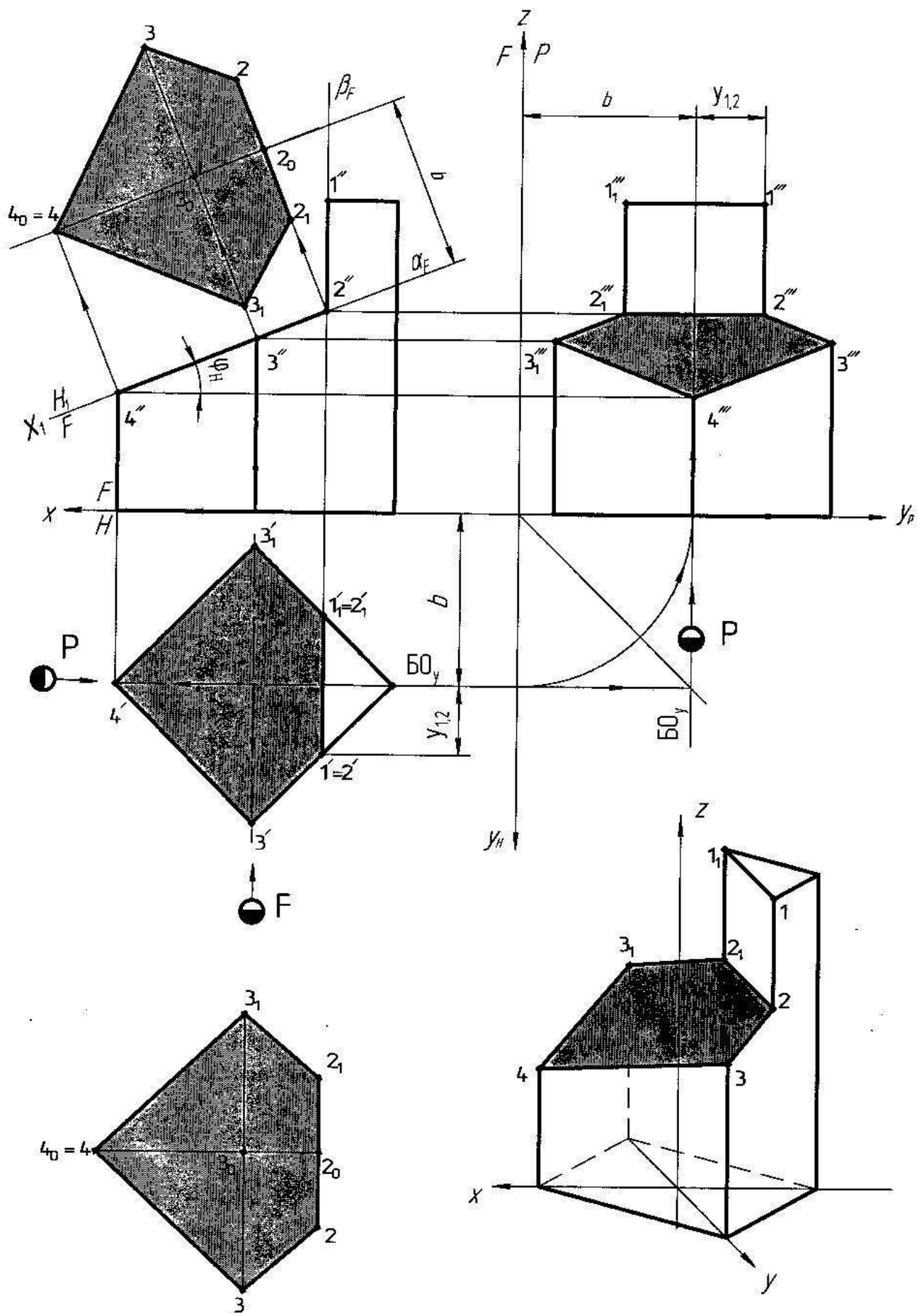


Рисунок 2.13 – Проекционный комплексный чертеж и аксонометрия призмы

фигуры (пятиугольника), а ширина находится на горизонтальной проекции. Для построения натуральной величины сечения можно на любом свободном месте чертежа или в проекционной связи провести ось симметрии, отложить на ней отрезки $2_0-3_0=2''-3''$ и $3_0-4_0=3''-4''$. Затем из точек $2_0, 3_0, 4_0$ проводим перпендикулярные прямые и на них находим соответствующие точки, используя координаты y от базы отсчета. Построение сечения в проекционной связи хорошо видно из чертежа. Фигура проецируется на дополнительную плоскость проекций H_1 проходящую через секущую плоскость $\alpha(\alpha_F)$, с последующим её поворотом до совмещения с фронтальной плоскостью проекций исходной системы координат.

На рисунке 2.14 дано построение трех проекций пирамиды с вырезом по фронтально-проецирующим плоскостям $\alpha(\alpha_F)$ и $\beta(\beta_F)$.

Для анализа решения задачи, напомним следующую теорему: *плоскость, проведенная параллельно основанию пирамиды, рассекает её по фигуре подобной основанию с соответственно параллельными сторонами.*

Сначала проанализируем форму заданной пирамиды. Дана правильная прямая треугольная пирамида, основание которой расположено горизонтально. Задняя грань SBC перпендикулярна профильной плоскости проекции. Вырез образован горизонтальной плоскостью α и наклонной плоскостью $\beta//SB$. На основании теоремы строим из точки 5 треугольник 547 с соответственно параллельными сторонами ($5-4//CA$, $4-7//AB$, $7-5//BC$) треугольнику в основании ABC . Затем по линиям связи находим точки $3'$ и $6'$. Точку $1'$ отмечаем на ребре $S'C'$, а точку $2'$, используя координату y_2 , определяем на профильной проекции. Для построения профильной проекции отмечаем базу отсчета координат y – BO_y . Обратим внимание, что грань SBC на профильной проекции вырождается в отрезок прямой, на которой расположены профильные проекции точек $1, 5, 6, 7$ как принадлежащие этой грани. Профильные проекции точек 2 и 4 строим исходя из их принадлежности ребру SA . Обратим внимание на параллельность отрезков $2-3$ и $1-6$ ребру SB по условию задачи, которые будут соответственно параллельны и на проекциях.

2.11 Образование поверхностей

Под поверхностью подразумевается непрерывное множество точек (рисунок 2.15), между координатами которых может быть установлена алгебраическая или трансцендентная зависимость. В начертательной геометрии принят кинематический способ образования поверхности, когда поверхность представляется как след линии движущейся в пространстве. Эта линия называется образующей поверхности (рисунок 2.16). В процессе движения образующая может оставаться неизменной или менять свою форму.

Линии, по которым или относительно которых перемещается образующая, называются направляющими.

Множество точек или линий поверхности образуют её каркас.

Совокупность всех условий, задающих поверхность в пространстве, называется её определителем.

Определитель поверхности $\Phi(\Gamma)(A)$ состоит из двух частей:

Γ – геометрической, в которой задаются некоторые постоянные элементы и величины;

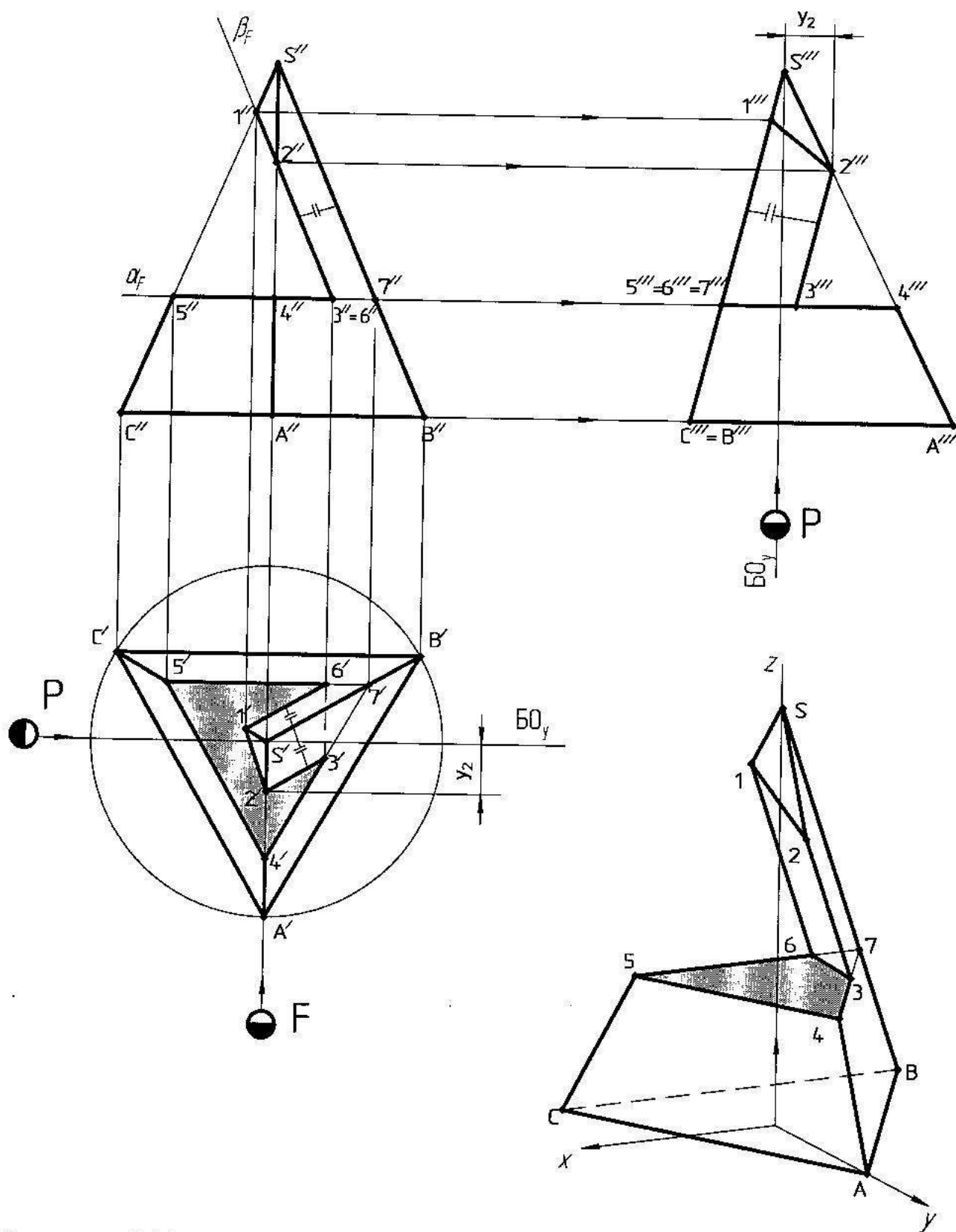


Рисунок 2.14 – Комплексный чертеж и аксонометрия пирамиды

А – алгоритмической, в котором указывается закон перемещения и изменения образующей.

Поверхность считается заданной чертежом, если относительно любой точки пространства, заданной на чертеже, однозначно решается вопрос о принадлежности этой точки, рассматриваемой поверхности.

Для придания наглядности чертежу поверхности строят ее каркас из образующих (или других линий), а также очерковые линии на проекциях поверхности.

Очерковыми линиями проекций поверхности называются линии, ограничивающие область её проекций.

Цилиндрическая поверхность (рисунок 2.17) образуется прямой l , называемой образующей, которая в каждом своем положении параллельна заданной прямой S и пересекает направляющую линию n .

Коническая поверхность (рисунок 2.18) образуется перемещением прямой l , которая в каждом своем положении проходит через одну и ту же точку S (вершину поверхности) и пересекает направляющую линию m .

В практике широко применяются поверхности вращения – цилиндрические, конические, сферические, торовые и др. Рассмотрим образование поверхности общего вида.

Поверхность вращения образуется вращением какой-либо линии вокруг некоторой прямой – оси вращения (рисунок 2.19).

Каждая точка образующей описывает окружность (**параллель**), плоскость которой перпендикулярна оси вращения.

Наибольшую из параллелей называют **экватором**, наименьшую – **горлом** поверхности.

Линия, полученная от пересечения поверхности плоскостью, проходящей через ось вращения, называется **меридианом**. Если секущая плоскость проходит через ось вращения поверхности и параллельна фронтальной плоскости проекций, то полученный меридиан называется **главным**.

Для построения проекций точки, принадлежащей поверхности вращения общего вида, необходимо через точку провести параллель (окружность), построить проекции параллели и на них по линиям связи найти одноименные проекции точки.

Фронтальный очерк поверхности вращения есть проекция главного меридиана на F .

Горизонтальный очерк – проекция экватора на H .

2.12 Тела вращения

1. Прямой круговой цилиндр образуется вращением прямоугольника вокруг одной из его сторон, ограничен боковой цилиндрической поверхностью вращения и двумя параллельными кругами – основаниями. На рисунке 2.20 представлен такой цилиндр с вырезом, образованным фронтально проецирующими плоскостями $\alpha(\alpha_F)$, $\beta(\beta_F)$ и $\gamma(\gamma_F)$. Если представить плоскости неограниченными, то плоскость $\alpha(\alpha_F)$ пересекает боковую поверхность цилиндра по эллипсу, который на фронтальную плоскость проекций проецируется в отрезок, на горизонтальную – в виде окружности, на профильную – эллипсом; плоскость $\beta(\beta_F)$ – по двум прямым (4-5), плоскость $\gamma(\gamma_F)$ – по окружности. Построение точек этих линий пересечения хорошо устанавливается из комплексного чертежа и аксонометрии цилиндра.

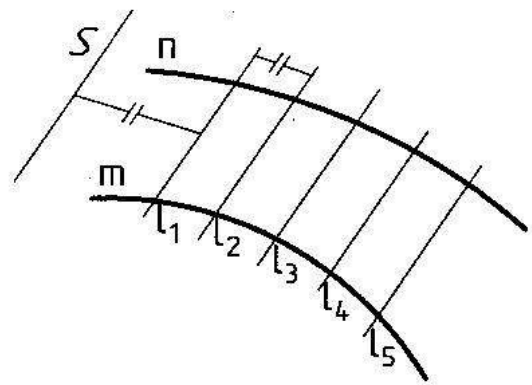
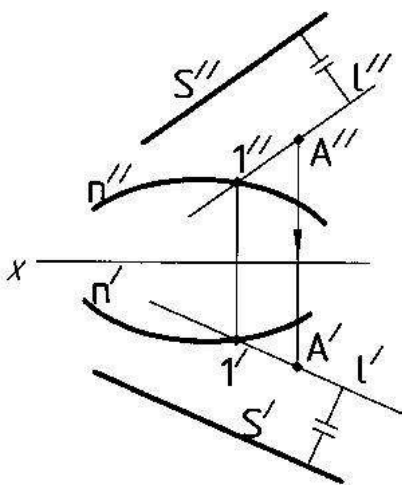


Рисунок 2.16 – Образование цилиндрической поверхности



Горло

Параллель

Экватор

Фронтальный очерк

Горизонтальный очерк

Labels in the drawing include: γ'' , $1''$, z'' , R_E , E'' , $5''$, α_F , $3''$, 1 , 2 , 3 , E , 5 , α_H , $1'$, $2'$, $3'$, E' , $5'$, β_H .

65

2. Прямой круговой конус образуется вращением прямоугольного треугольника, у которого один катет является осью вращения, а образующая боковой поверхности является гипотенузой, каждая точка которой описывает в пространстве окружность. Рассмотрим сечение конуса различными плоскостями и его представление на комплексном чертеже.

На рисунке 2.21 плоскость $\alpha(\alpha_F)$ перпендикулярна оси вращения и пересекает боковую поверхность конуса по окружности, которая на горизонтальную плоскость проецируется окружностью радиусом R_α , а на плоскости F и P — в виде отрезка прямой. Плоскость $\beta(\beta_F)$ пересекает боковую поверхность по отрезку прямой SA и SB .

На рисунке 2.22 плоскость $\alpha(\alpha_F)$ образует с осью вращения острый угол и пересекает боковую поверхность по эллипсу, большая ось которого $4-1$, малая $3-3_1$. Характерные точки 3 и 3_1 строим, используя вспомогательную окружность как результат пересечения плоскости $\beta(\beta_F)$ с боковой поверхностью конуса.

На рисунке 2.23 изображен конус, у которого секущая плоскость $\alpha(\alpha_F)$ параллельна оси вращения или двум образующим и пересекает коническую поверхность вращения по гиперболе, которая на профильной проекции изображается в натуральную величину, а на фронтальной и горизонтальной — в виде отрезков прямых. Плоскость $\beta(\beta_F)$ параллельна одной образующей — боковую поверхность конуса пересекает по параболе, которая хорошо видна на горизонтальной и профильной проекциях, а на фронтальной проецируется в виде отрезка прямой.

3. Шар — твердотельная фигура ограниченная сферической поверхностью, которая образуется вращением окружности вокруг одного из своих диаметров. Окружность максимального радиуса, расположенная в горизонтальной плоскости, называется *экватором*, проекция которой на H дает горизонтальный очерк. Плоскость экватора делит шар на видимую и не видимую части. Это следует учитывать при определении видимости точек и линий, расположенных на поверхности шара. Любое сечение шара — есть круг, который может проецироваться как в натуральную величину, если секущая плоскость параллельна плоскости проекции (рисунок 2.24а), так и в виде эллипса (рисунок 2.24б).

4. Тор — твердое тело ограниченное торовой поверхностью, которая образуется вращением окружности вокруг прямой, расположенной в плоскости этой окружности и не проходящей через её центр. Если расстояние от центра образующей окружности до оси вращения больше чем радиус образующей окружности, то имеем открытый тор; если равно — закрытый; если меньше — самопересекающейся. Центр образующей окружности описывает в пространстве окружность, которая называется *центральной окружностью* тора.

На рисунке 2.25а представлен тор с вырезом плоскостями $\alpha(\alpha_H)$ и $\beta(\beta_H)$ на комплексном чертеже и в аксонометрии, ось которого перпендикулярна фронтальной плоскости проекции. Плоскость $\alpha(\alpha_H)$ пересекает поверхность тора по дугам окружности радиуса R_1 и R_2 .

На рисунке 2.25б показан характер изменения линии пересечения торовой поверхности с плоскостью в зависимости от её положения относительно оси вращения. Если плоскость проходит через ось вращения $\delta(\delta_F)$, то в сечении имеем две окружности. Плоскость $\gamma(\gamma_F)$ пересекает поверхность тора по самопересекающейся кривой типа «восьмерка», которая называется лемнискатой Бернулли — кривой четвертого порядка. Порядок кривой графически определяется числом точек её пересечения с прямой. Плоскость $\alpha(\alpha_F)$ даёт сечение в виде овала.

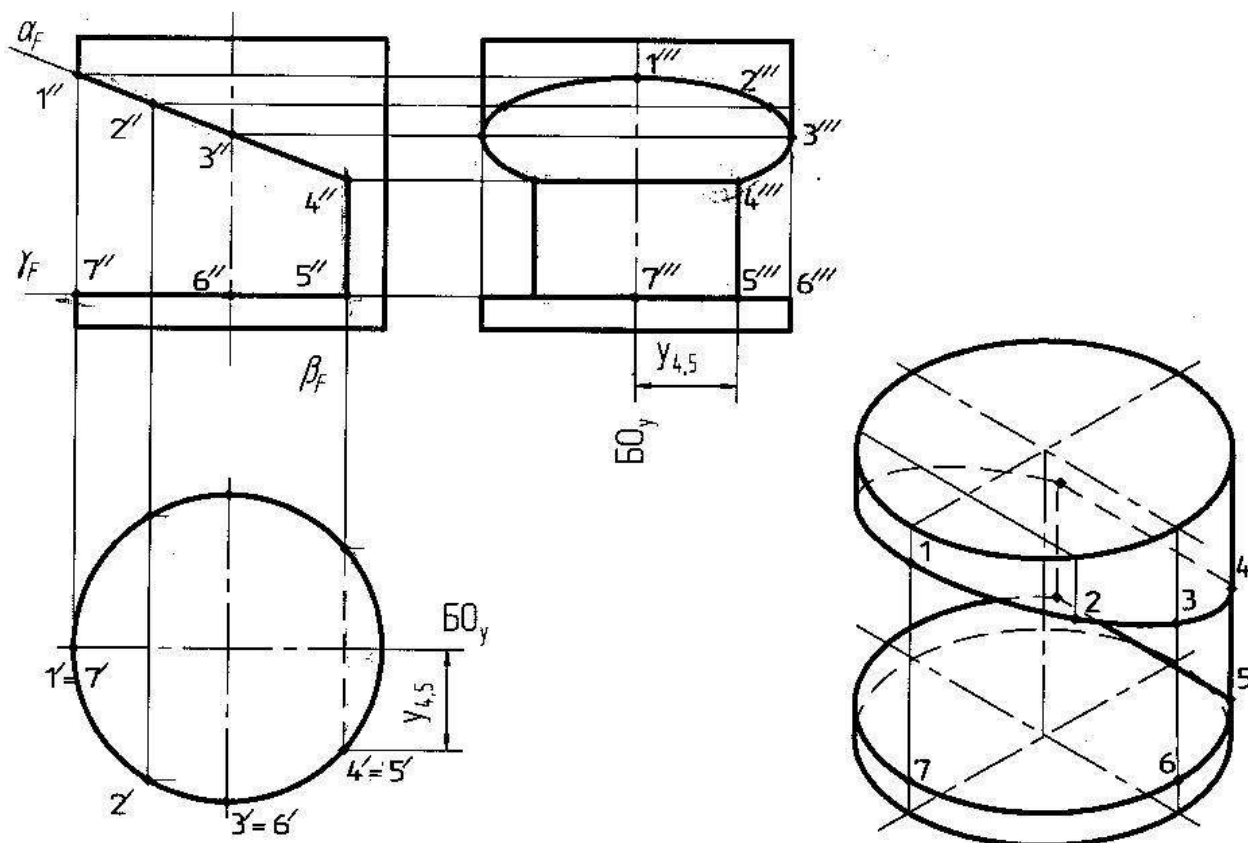


Рисунок 2.20 – Проекционный комплексный чертеж и аксонометрия цилиндра

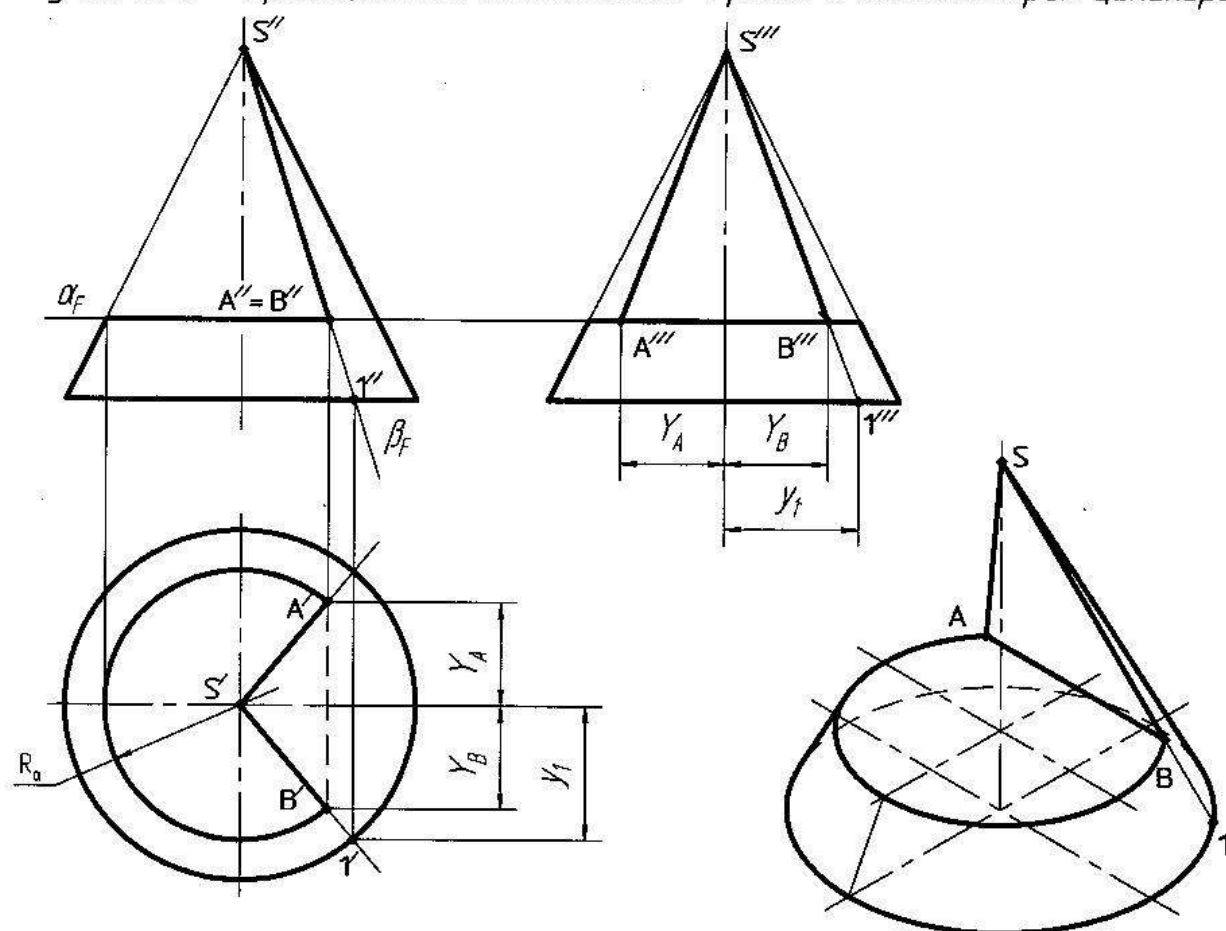


Рисунок 2.21 – Сечение поверхности конуса по окружности и треугольнику

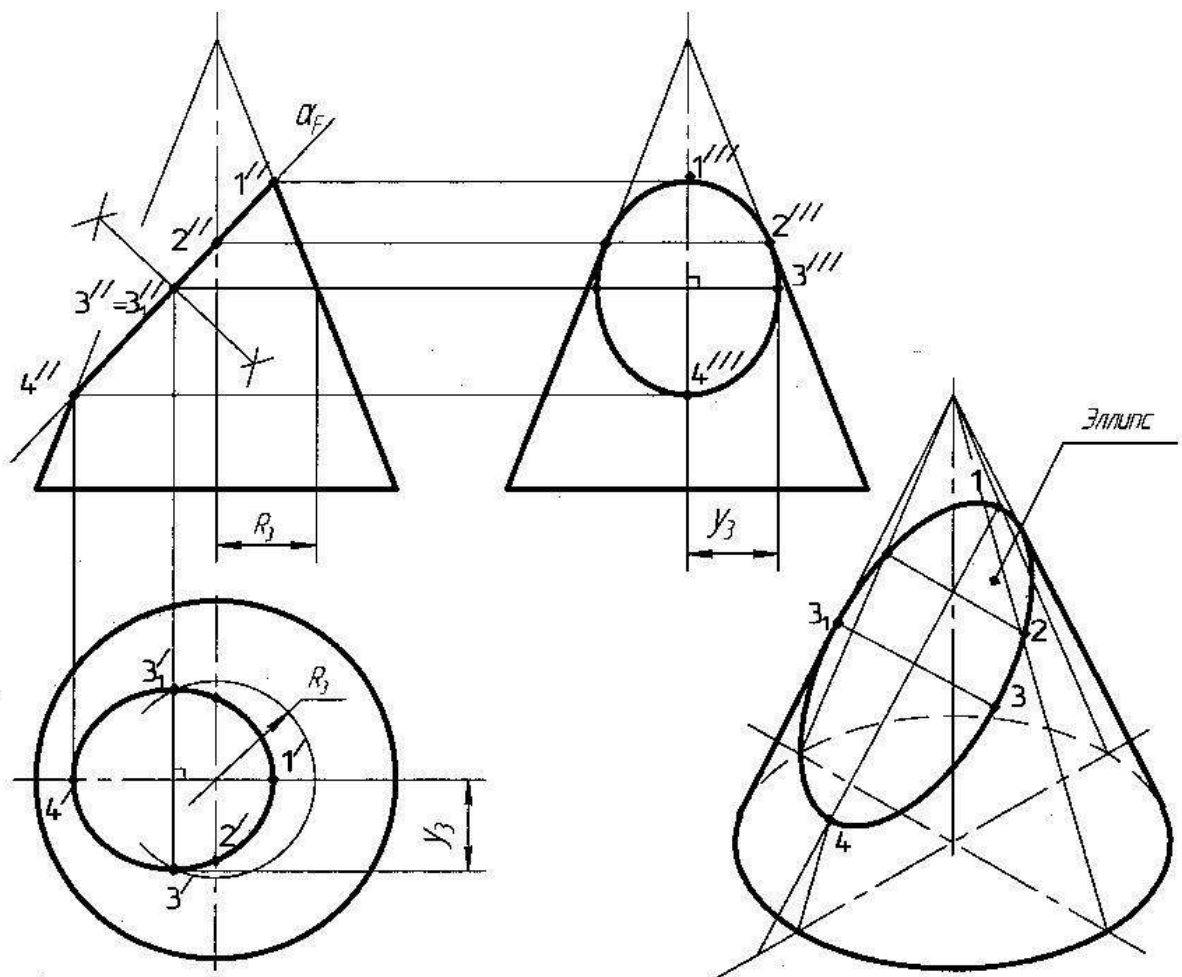


Рисунок 2.22 – Сечение поверхности конуса по эллипсу

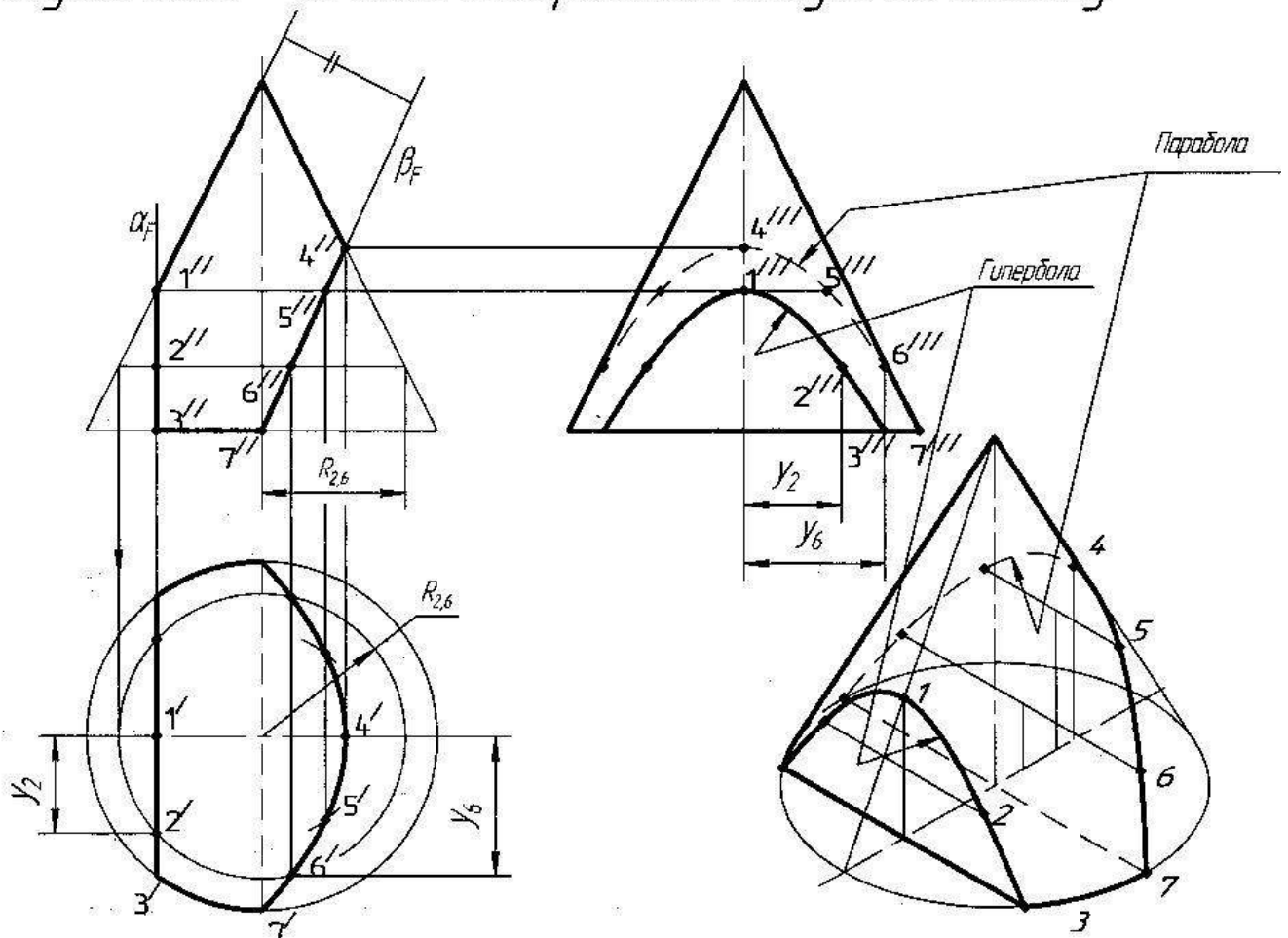


Рисунок 2.23 – Сечение поверхности конуса по гиперболе и параболе

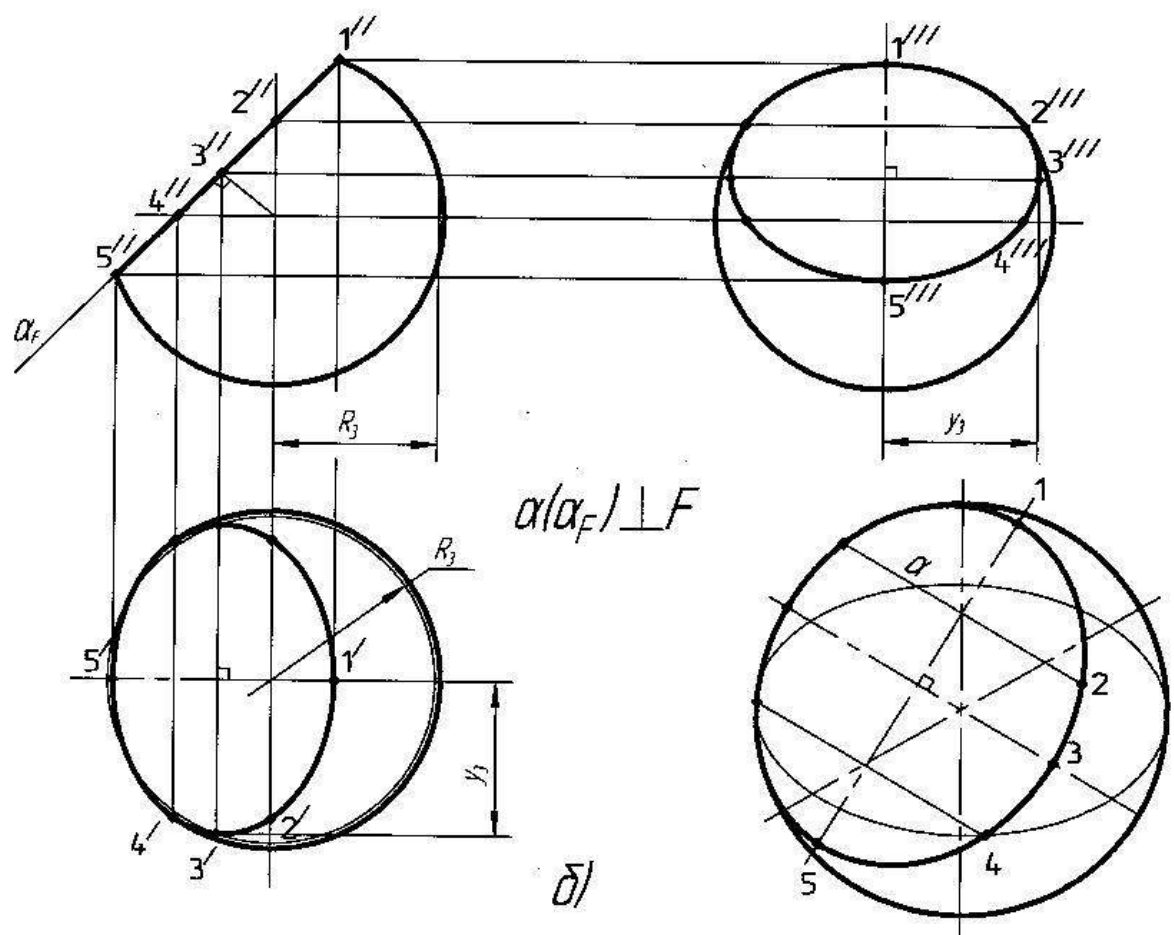
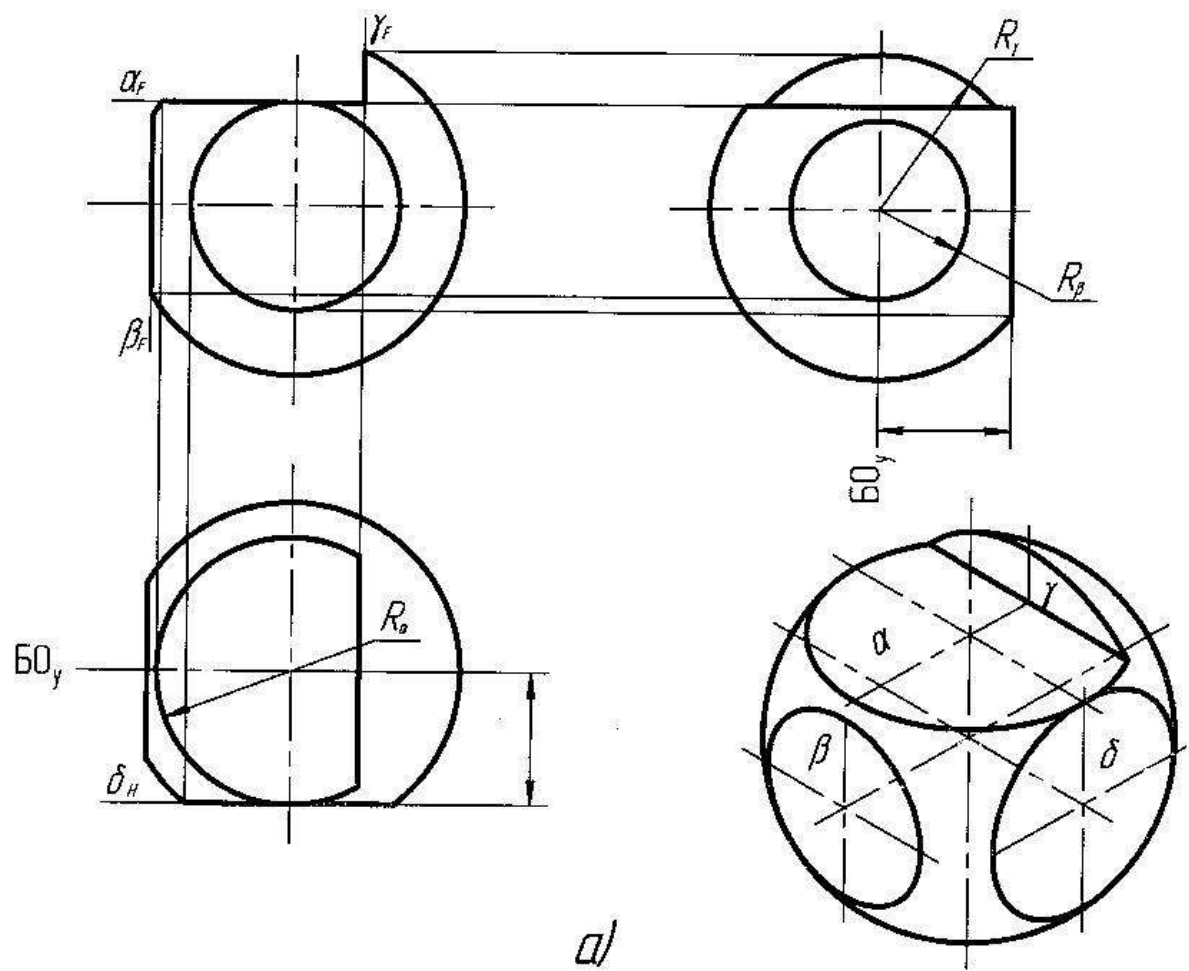


Рисунок 2.24. - Сечение поверхности шара различными плоскостями

2.13 Принцип построения проекций точек, принадлежащих поверхностям геометрических тел, на ПКЧ

Отметим то, что точка принадлежит некоторой поверхности, если она расположена на линии этой поверхности. Для того чтобы построить вторую проекцию точки по одной заданной, которая принадлежит поверхности, необходимо (рисунок 2.26):

- 1) построить две проекции вспомогательной линии, которая содержит эту точку;
- 2) из заданной проекции точки провести линию связи до пересечения её с одноименной проекцией вспомогательной линии и в пересечении отметить искомую точку.

2.14 Контрольные вопросы

1. Какие отличительные признаки параллельных, пересекающихся и скрещивающихся прямых на ПКЧ?
2. Когда прямой угол проецируется в натуральную величину?
3. Как может быть представлена плоскость на ПКЧ?
4. Как понимать выражение «плоскость считается заданной»?
5. Назовите характерные линии плоскости?
6. Как расположена линия ската по отношению к горизонтали плоскости?
7. Можно ли сказать, что горизонтальный след плоскости – это «нулевая горизонталь»?
8. Что является отличительным признаком на ПКЧ плоскостей уровня и проецирующих плоскостей?
9. В чем выражается собирательное свойство вырожденной проекции проецирующей плоскости?
10. Когда один или два пересекающихся геометрических образа (прямая и плоскость, две плоскости) являются проецирующими, то сколько проекций их общего элемента (точки или прямой) имеется на ПКЧ?
11. Как расположена линия пересечения горизонтально и фронтально проецирующих плоскостей относительно плоскостей проекций?
12. Как проверить параллельность двух плоскостей, заданных на ПКЧ?
13. Дайте определение геометрических тел: призмы, пирамиды, цилиндра, конуса, шара, тора?
14. Выделите общие и отличительные признаки вышеперечисленных геометрических тел?
15. Сформулируйте теорему о сечении пирамиды плоскостью параллельной её основанию?
16. Каков принцип построения проекций точек на комплексном чертеже, принадлежащих поверхностям геометрических тел?

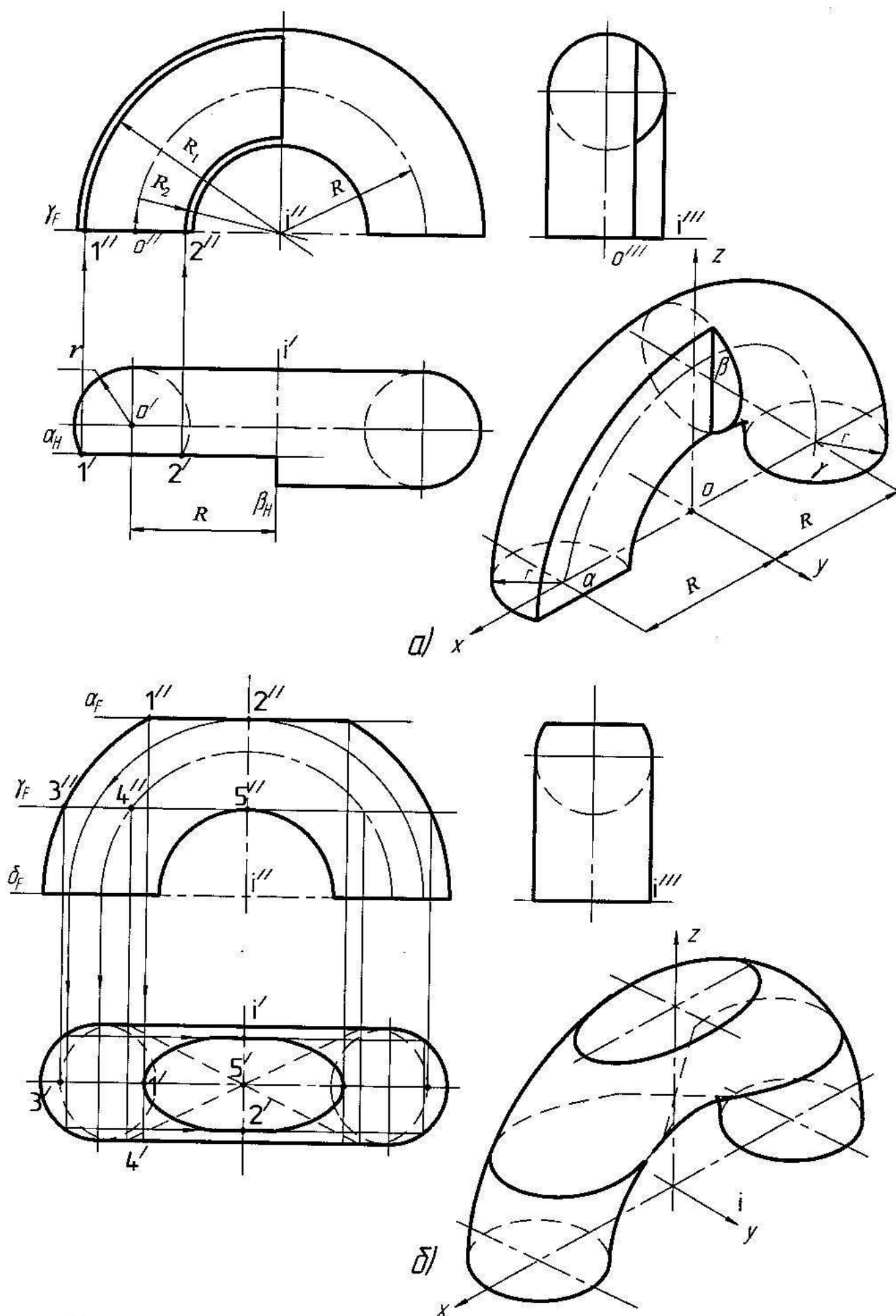


Рисунок 2.25.- Сечение поверхности тора различными плоскостями

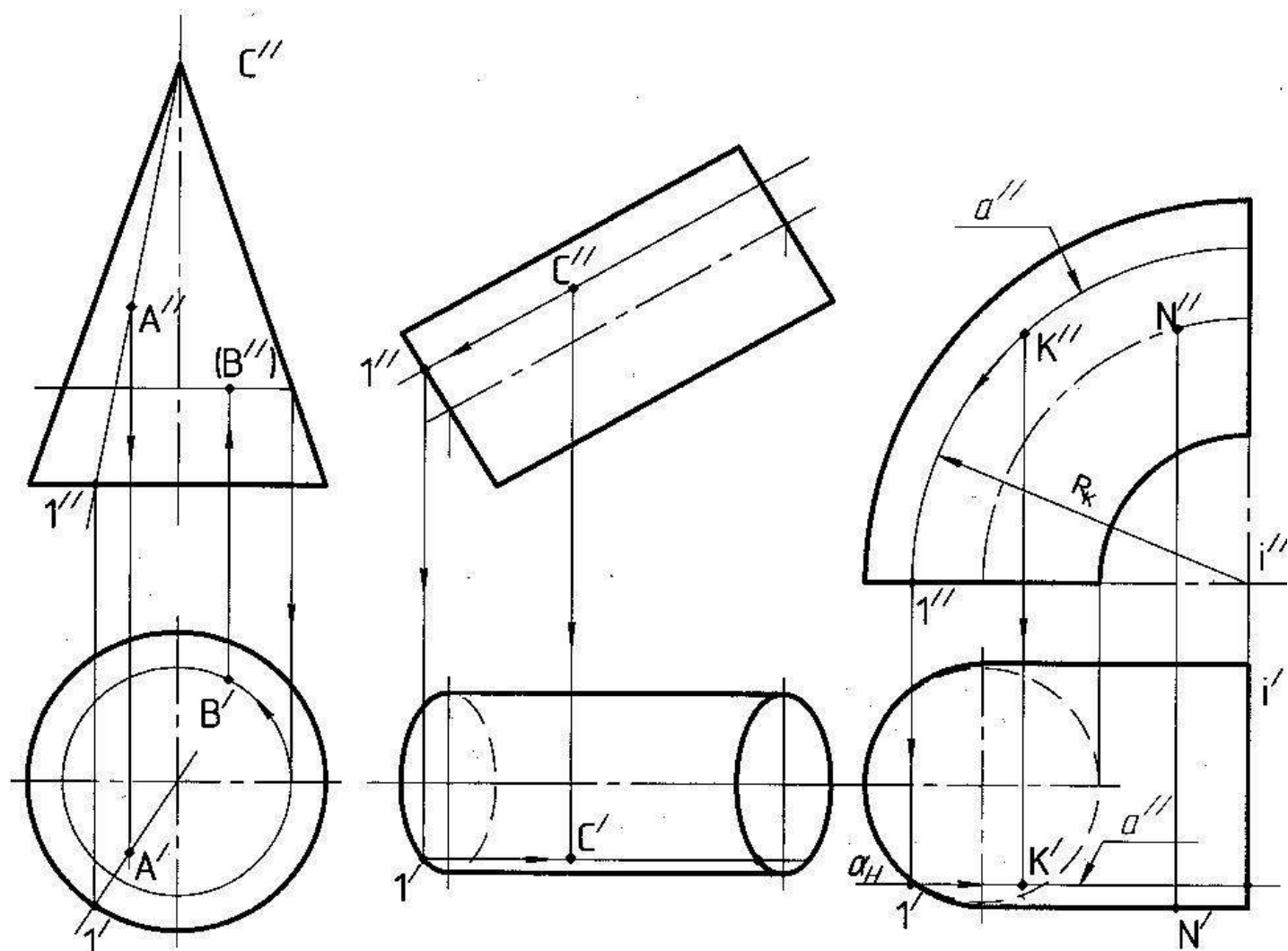
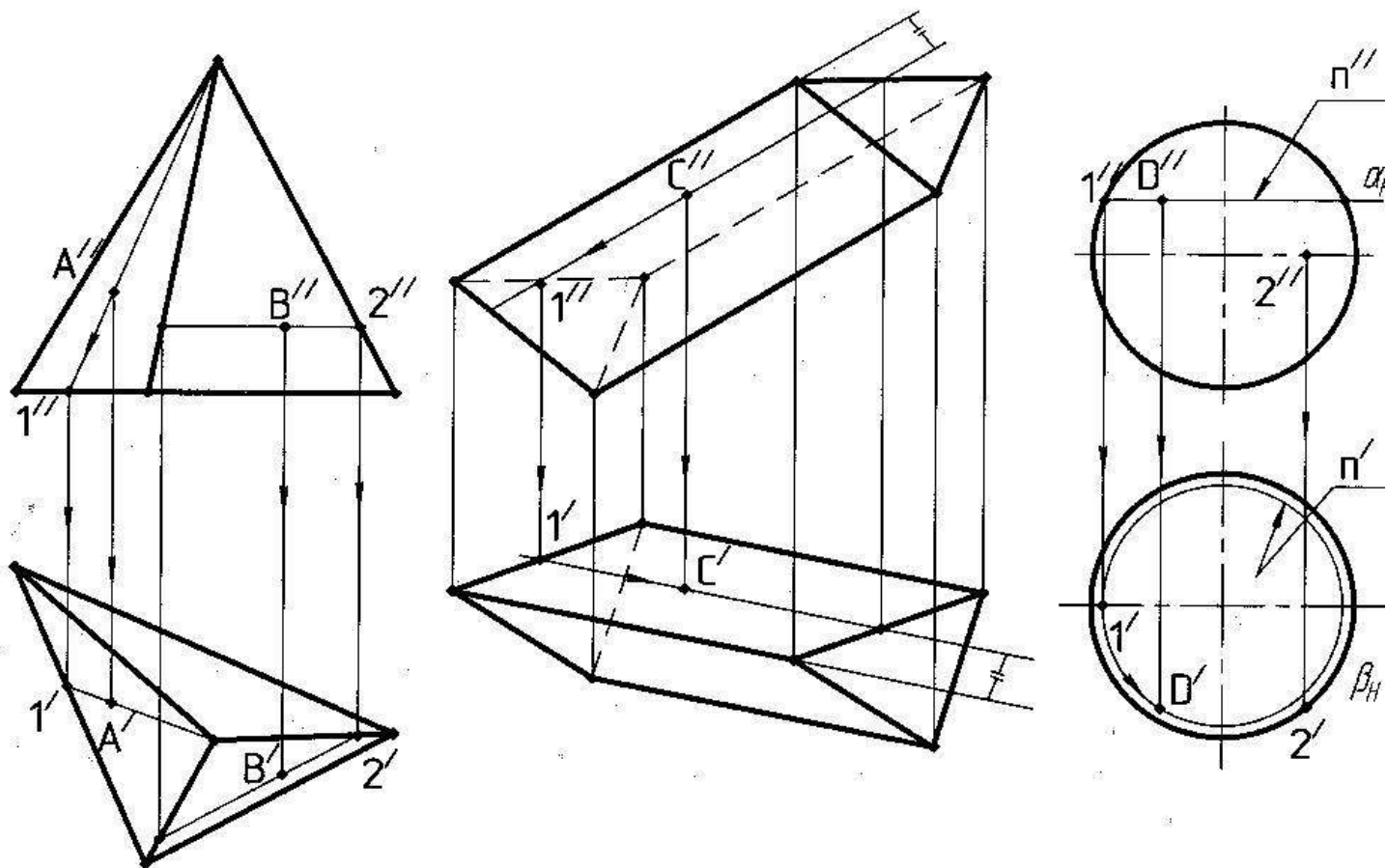


Рисунок 2.26 – Построение горизонтальных проекций точек по заданным фронтальным проекциям, расположенных на поверхностях геометрических тел, на ПКЧ

2.15 Упражнения

2.15.1 Построить три проекции тел вращения, рассеченных различными плоскостями (рисунок 2.27 а-з)

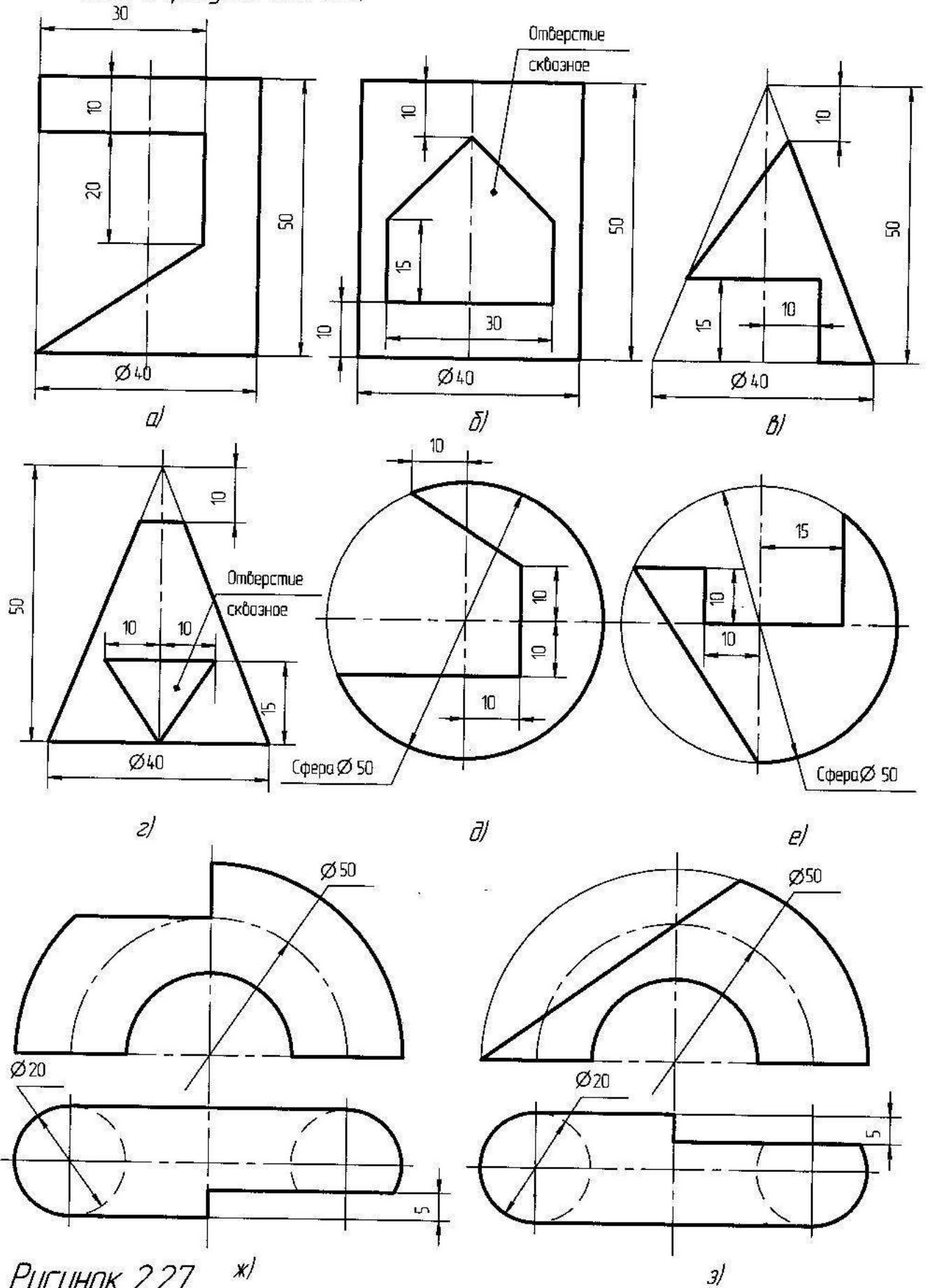


Рисунок 2.27 ж)

з)

2.16 Методические указания по выполнению индивидуальных графических работ

Графическая работа по второму модулю является продолжением начатой работы по первому модулю (рисунок 1.34). В задании требуется ввести срезы и вырезы на геометрических телах фронтально-проецирующими плоскостями и изобразить их на трехпроеционном комплексном чертеже и в аксонометрии. При этом в зависимости исходной геометро-графической подготовки студент может выбрать работу соответствующего уровня.

1-ый уровень – изобразить геометрическое тело, рассеченное только одной плоскостью $\alpha(\alpha_F)$, сохранив большую часть.

2-ой уровень – изобразить геометрическое тело с вырезом (двумя или тремя плоскостями).

3-ий уровень – выполнить все указанные срезы и вырезы.

Студент, выполнивший ИГР 1-го, 2-го или 3-го уровня может претендовать соответственно на оценку 4-6, 7-8, 9-10.

Допускается, по усмотрению студента дополнить ПКЧ выполнением аксонометрии любого уровня, в зависимости от потенциальных возможностей и запаса времени на момент сдачи модуля. Рейтинг задания, выполненного в срок, оценивается более высоко, а с опозданием в одну, две или три недели, соответственно, с понижением оценки. При оценке ИГР учитывается качество графического оформления.

ИГР подлежит защите, где студент должен проявить понимание всех теоретических вопросов на момент сдачи модуля, уметь строить уверенно проекции точек, принадлежащих поверхностям геометрических тел (рисунок 2.26).

В задании требуется дать построение характерных точек, одной промежуточной, принадлежащих контуру сечения, и обозначить их (образец выполнения задания приведен на рисунке 2.28).

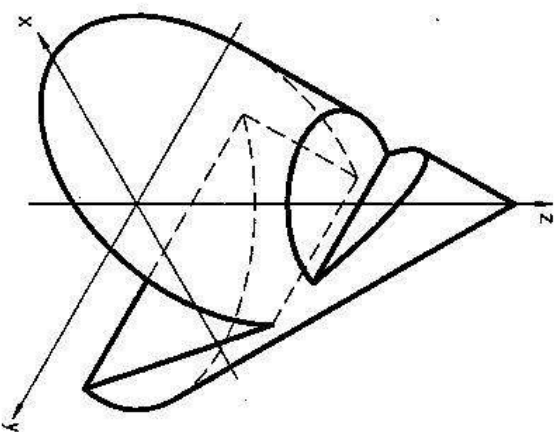
[illegible]

Рисунок 2.28 Пример выполнения ИГР

ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

3.1. Комплексная цель

Цель модуля – овладение знаниями для построения линий пересечения поверхностей на проекционном комплексном чертеже, и на этой основе развитие навыков выполнения видов, сечений, разрезов.

Для достижения цели модуля студент должен

знать:

- характер линии пересечения поверхностей в зависимости от вида пересекающихся поверхностей и взаимного расположения (четыре случая);
- сущность общего метода построения линии пересечения поверхностей – метода посредников;
- условия применения способа вспомогательных секущих плоскостей, концентрических и эксцентрических сфер;
- принцип построения линии пересечения поверхностей многогранников;
- теорему Монжа о пересечении поверхностей второго порядка, описанных или вписанных в поверхность второго порядка;

уметь:

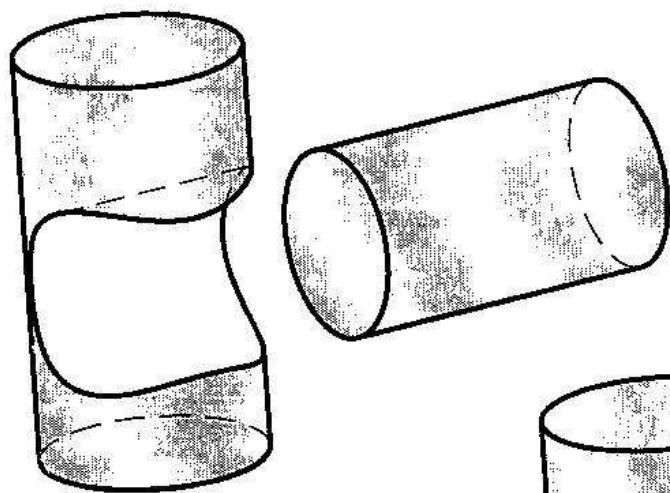
- строить линии пересечения поверхностей, когда одна или две из них являются проецирующими (первый уровень);
- когда для построения линии пересечения поверхностей требуется применение способа вспомогательных секущих плоскостей или сфер (второй уровень);
- создавать пространственные конфигурации, содержащие линии пересечения поверхностей, и графически их моделировать на проекционном комплексном чертеже и в аксонометрии (творческий уровень).

3.2 Пересечение поверхностей

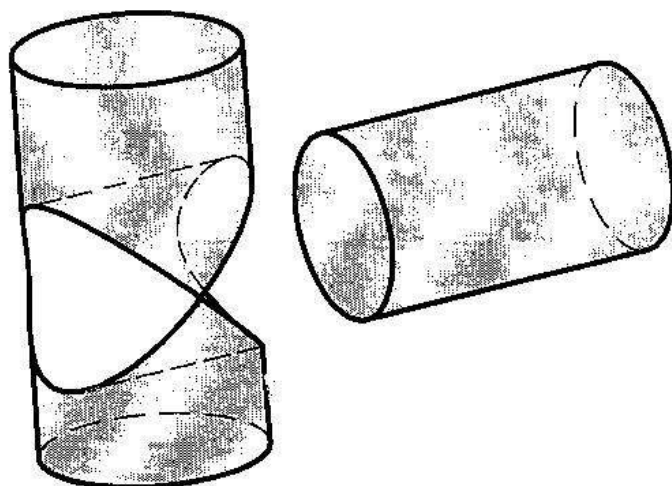
3.2.1 Характер линии пересечения поверхностей в зависимости от их вида и взаимного расположения (четыре общих случая)

Изображение детали на ортогональной проекции ограничено замкнутой очерковой линией как проекцией контура видимости, внутри которого расположены различные линии пересечения поверхностей. В этой связи приобретает особое значение умение усматривать за каждой линией чертежа характер и положение линии в пространстве. Учитывая многообразие возможных вариантов сочетания пересечения поверхностей различного вида и взаимного расположения, а также положения относительно плоскостей проекций, практически невозможно их проиллюстрировать. Поэтому особое значение имеет осмысление общих закономерностей и принципов, на которые опирается построение линии пересечения поверхностей. Прежде всего, к таким закономерностям следует отнести четыре случая пересечения поверхностей и связанные с ними характер линии их пересечения (рисунок 3.1).

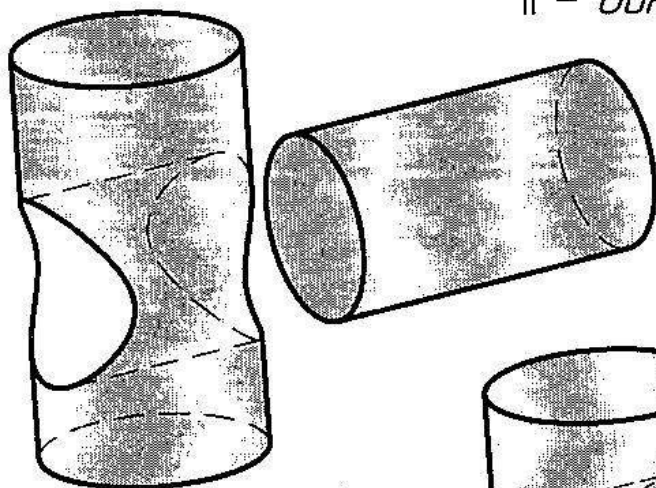
Для лучшего восприятия линии пересечения – общего элемента двух пересекающихся поверхностей, горизонтальный цилиндр извлечен из вертикального.



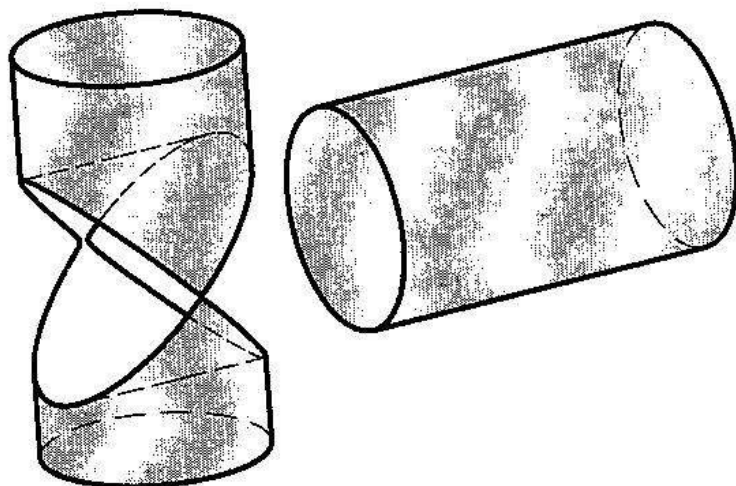
I – Частичное врезание



II – Одностороннее соприкосновение



III – Полное проникание



IV – Двухстороннее соприкосновение

Рисунок 3.1 – Характер линии пересечения поверхностей геометрических тел в зависимости от их взаимного расположения на примере цилиндров

Рассмотрим характер линии пересечения поверхностей в зависимости от их взаимного расположения.

I – частичное врезание (линия пересечения есть некоторая замкнутая пространственная линия).

II – одностороннее соприкосновение, когда две поверхности имеют общую касательную плоскость (линия пересечения есть замкнутая линия, которая один раз самопересекается в виде восьмерки).

III – полное проницание (линия пересечения распадается на две замкнутые линии).

IV – двухстороннее соприкосновение – поверхности имеют две общих касательных плоскости (линия пересечения есть некоторая пространственная линия, которая дважды самопересекается).

Характер линии пересечения определяется видом пересекающихся поверхностей. Например, для случая полного проницания многогранников линия распадается на две замкнутые пространственные ломаные линии (рисунок 1.20в). При пересечении кривой и многогранной поверхностей – пространственная линия, состоящая из участков плоских кривых и прямых линий (рисунок 1.20а), а при пересечении цилиндрических поверхностей – замкнутая пространственная кривая линия (рисунок 3.1-1).

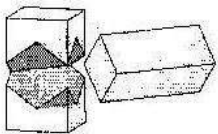
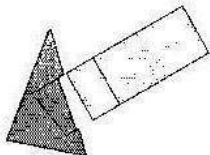
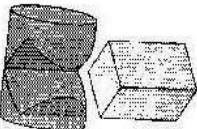
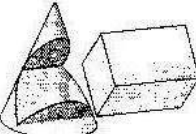
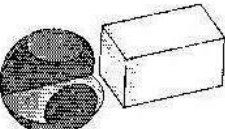
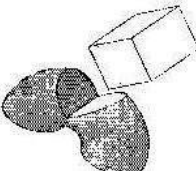
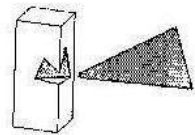
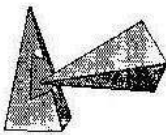
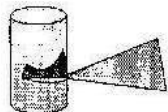
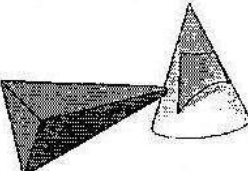
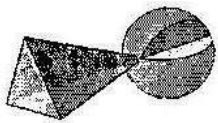
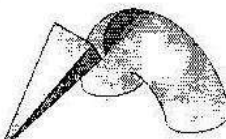
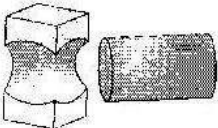
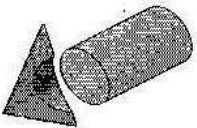
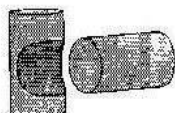
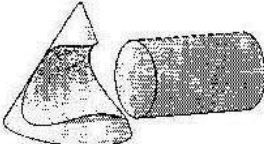
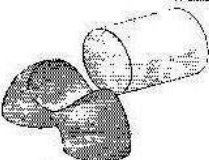
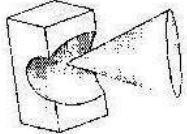
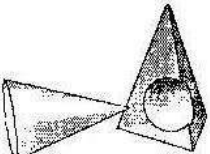
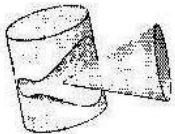
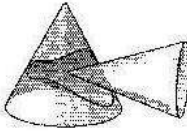
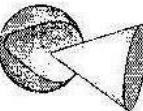
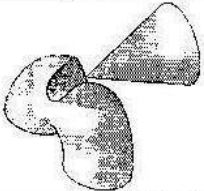
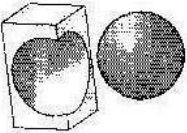
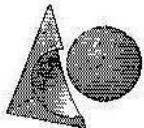
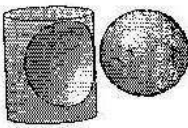
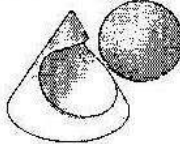
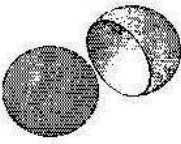
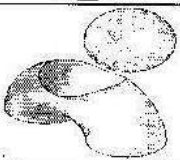
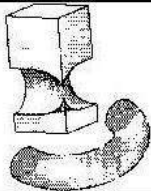
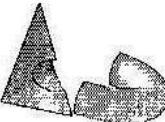
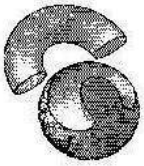
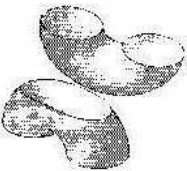
С целью увеличения наглядности, сравнительной оценки и уяснения закономерностей в пересечении поверхностей возможных случаев пересечения в обобщенном виде нами впервые разработана система взаимодействия типовых геометрических тел на базе трехмерного компьютерного моделирования в матричной форме в виде четырех таблиц в соответствии с четырьмя случаями пересечения поверхностей.

Таблица 3.1 демонстрирует случай I – «Частичное врезание», когда одно геометрическое тело в горизонтальном положении извлечено из другого вертикального.

Цифровое кодирование геометрических тел по строкам и столбцам позволяет легко шифровать и дешифровать конкретные случаи пересечения. Например, обозначение I-3.5 соответствует случаю «частичное врезание» при пересечении цилиндра со сферой.

Таким образом, предложенная таблица в виде матрицы позволяет наглядно представить взаимодействие типовых геометрических тел в обобщенном виде, из которых, как из конструктивов, синтезируется подавляющее большинство технических форм и выполняет функцию: систематизации, конкретизации и наглядности. Все это дает студенту и будущему специалисту мощный геометрический инструмент для конструирования различных технических форм в зависимости от их функционального назначения.

Таблица 1
Сочетание пересечений геометрических тел для случая I – «Частичное врезание»

							
		1	2	3	4	5	6
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

3.2.2 Метод посредников – общий метод построения линии пересечения поверхностей

Сущность метода заключается в том, что две заданные поверхности – плоскости α и β (рисунок 3.2) пересекаются вспомогательной плоскостью δ , которая пересекает заданную плоскость α по прямой k , а β – по прямой l . Эти две прямые принадлежат плоскости δ и, пересекаясь между собой, дают одну точку искомой линии пересечения – K . Повторив пересечение заданных плоскостей плоскостью γ , получаем вторую точку линии пересечения – N , что вполне достаточно для построения прямой по которой пересекаются две заданные плоскости α и β . Если пересекаются кривые поверхности, то количество точек искомой линии пересечения определяется видом поверхностей и их относительным расположением.

Рассмотренную модель (рисунок 3.2) можно представить на примере пересечения двух вертикальных плоскостей (поверхностей стен комнаты), пересеченных горизонтальной плоскостью пола – δ и потолка – γ .

Перейдем к реализации описанного выше алгоритма на комплексном чертеже (рисунок 3.3).

Плоскость α задана двумя пересекающимися прямыми, а плоскость β – двумя параллельными прямыми.

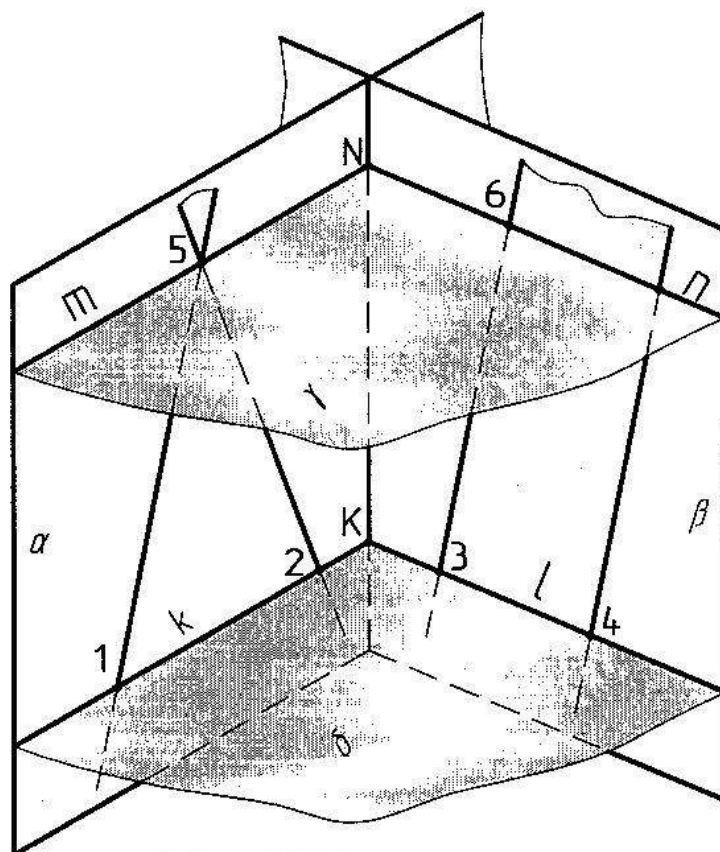
Пересекая заданные плоскости вспомогательной горизонтальной плоскостью $\delta(\delta_F)$, получаем две вспомогательные линии 1-2 и 3-4, которые пересекаются в точке K . Для этого сначала отмечаем фронтальные проекции этих прямых, а затем строим их горизонтальные проекции и на их продолжении отмечаем точку пересечения K' . По линии связи в пересечении с δ_F отмечаем K'' . Вторую вспомогательную плоскость $\gamma(\gamma_F)$ проводим параллельно плоскости δ через точку 5 пересечения прямых в плоскости α , тогда полученные вспомогательные линии m и n , будут соответственно параллельны k и l , поэтому для их построения достаточно найти по одной их точке – 5 и 6. В пересечении m и n находим вторую точку прямой N , принадлежащей искомой линии пересечения. На проекциях сначала строим точку N' , а затем по линии связи находим N'' .

3.2.3 Способ вспомогательных секущих плоскостей

В зависимости от вида посредников различают: способ вспомогательных секущих плоскостей и способ вспомогательных сфер.

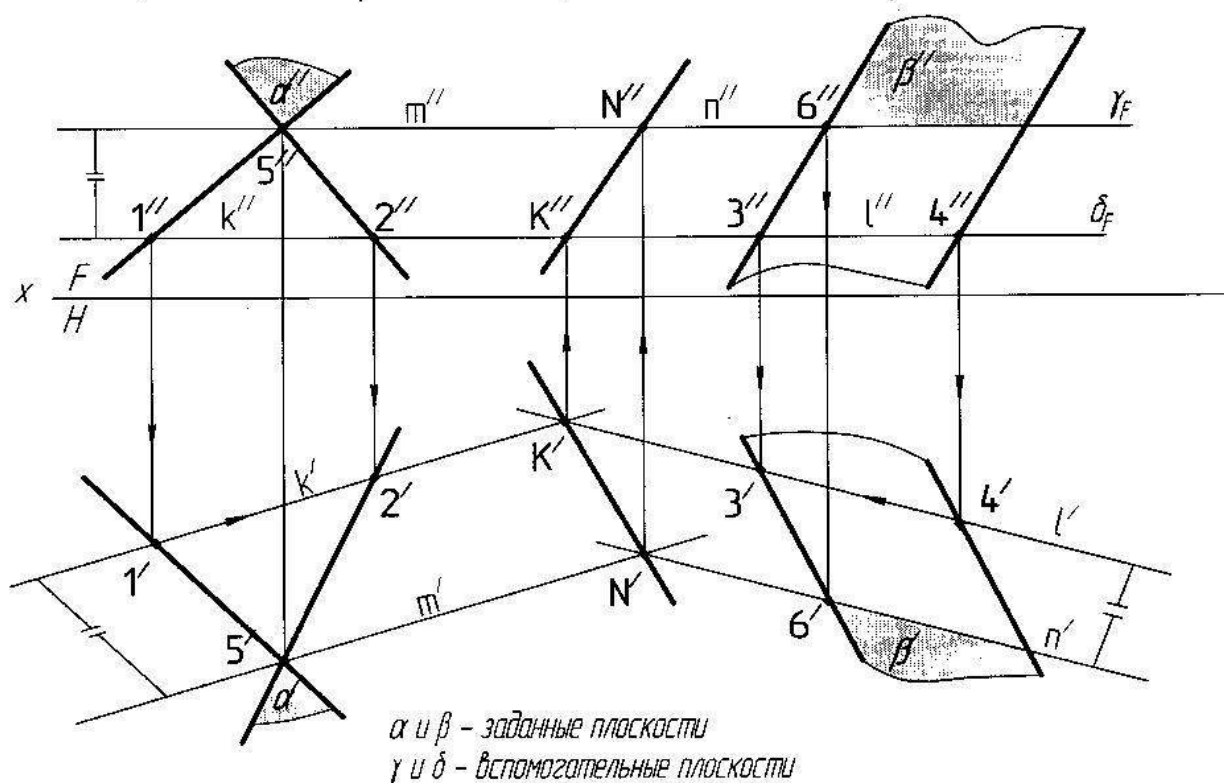
Далее рассмотрим применение вспомогательных секущих плоскостей для построения линии пересечения поверхностей конуса и шара (рисунок 3.4).

Обратим внимание, что центр шара расположен на левой очерковой образующей конуса. Здесь имеем случай пересечения кривых поверхностей (частичное врезание) с общей плоскостью симметрии параллельной фронтальной плоскости проекций. Линия пересечения поверхностей есть замкнутая кривая. На пересечении левой очерковой образующей конуса и фронтальным очерком шара отмечаем характерные точки A и E в плоскости симметрии. Данные точки разделяют кривую на видимую и невидимую части на фронтальной проекции.



α и β – заданные плоскости
 γ и δ – вспомогательные плоскости
 $m = \gamma \cap \alpha$; $n = \gamma \cap \beta$
 $m \cup n \subset \gamma$; $N = m \cap n$;
 $K = k \cap l$; $NK = \alpha \cap \beta$;
 $\delta \parallel \gamma \Rightarrow m \parallel k$ и $n \parallel l$

Рисунок 3.2 – Модель построения линии пересечения двух поверхностей (плоскостей α и β)



α и β – заданные плоскости
 γ и δ – вспомогательные плоскости
 $1-2 = \delta \cap \alpha$; $3-4 = \delta \cap \beta$; $K = 1-2 \cap 3-4$; $KN = \alpha \cap \beta$;

Рисунок 3.3 – Построение линии пересечения двух плоскостей общего положения на ПКЧ

К характерным точкам относятся те, в которых линия пересечения проходит через экватор — точки C и C_1 , горизонтальные проекции которых делят горизонтальную проекцию линии пересечения поверхностей на видимую и невидимую части. Для их построения используем секущую горизонтальную плоскость α_2 , которая пересекает поверхность шара по экватору, а конус по окружности радиусом R_α , которые, пересекаясь между собой, дают точки C и C_1 .

Промежуточную точку B находим с помощью плоскости α_1 , которая пересекает поверхность шара по окружности m , а поверхность конуса по — n . Сначала строим горизонтальные проекции точек, а затем по линиям связи в пересечении с фронтальной проекцией плоскости (следом) отмечаем фронтальные проекции. Аналогично строим проекции точки D с помощью плоскости α_3 .

Цилиндрические поверхности находят широкое применение в формообразовании технических деталей в виду их конструктивных и технологических преимуществ. Зачастую они ограничивают как наружную, так и внутреннюю форму деталей. В этой связи важно усматривать линию пересечения боковых цилиндрических поверхностей твердотельных деталей снаружи и поверхностей задающих форму отверстий. Поэтому студент должен хорошо представлять характер линии пересечения поверхностей в пространстве и уметь их отобразить на проекциях с применением различных посредников.

На рисунке 3.5 для построения линии пересечения боковых поверхностей цилиндров применяются фронтальные вспомогательные секущие плоскости $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, которые пересекают цилиндрические поверхности α и β по образующим.

Характерную точку A отмечаем на пересечении очерковых образующих, по которым вспомогательная плоскость φ_1 пересекает цилиндрические поверхности (см. рисунок 1.19). Для построения точки C используем секущую плоскость φ_3 , которая касается поверхности β по образующей и пересекает по прямой поверхность α . Сначала отмечаем точку C' , затем по линии связи находим C'' . Промежуточную точку B строим с помощью плоскости φ_2 . Для этого проводим полуокружность радиусом R на фронтальной проекции и от центра полуокружности влево проводим вертикальную линию на расстоянии a , которая пересекает окружность в точке 1 . Из этой точки проводим горизонтальную прямую до пересечения с вертикальной линией связи, выходящей из точки B' и отмечаем точку B'' .

3.2.4 Пересечение соосных поверхностей вращения

Поверхности вращения, имеющие общую ось вращения называются **соосными**. Соосные поверхности пересекаются по окружностям плоскости, которые перпендикулярны общей оси (рисунок 3.6). Так как ось $i_1(i'_1, i''_1) \perp H$, то окружность по которой пересекается поверхность шара с поверхностью конуса на горизонтальной проекции проецируется без искажения, а на фронтальной в виде отрезка перпендикулярного i''_1 .

3.2.5 Способ концентрических сфер

Для применения данного способа необходимо:

- 1) чтобы пересекались поверхности вращения;
- 2) оси поверхностей пересекались и задавали общую плоскость симметрии;

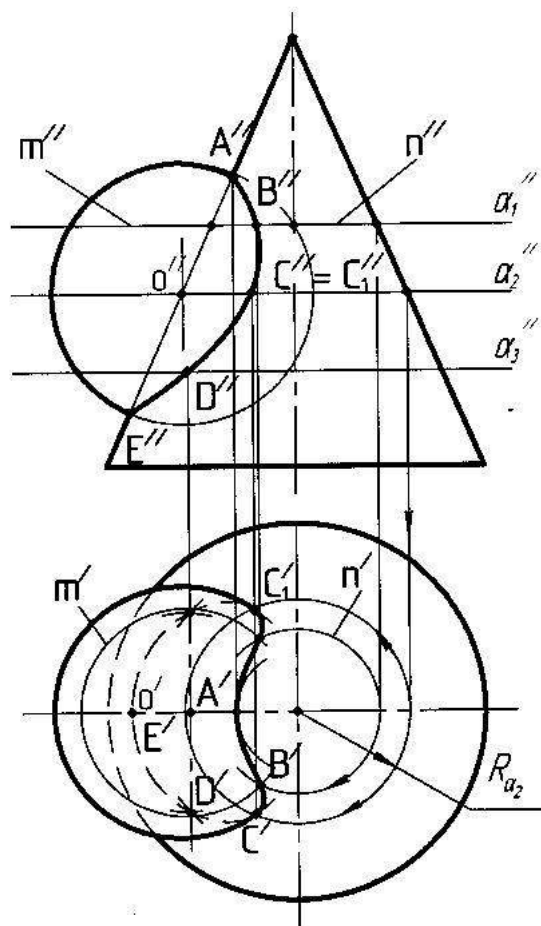


Рисунок 34 - Построение линии пересечения поверхностей способом вспомогательных секущих плоскостей

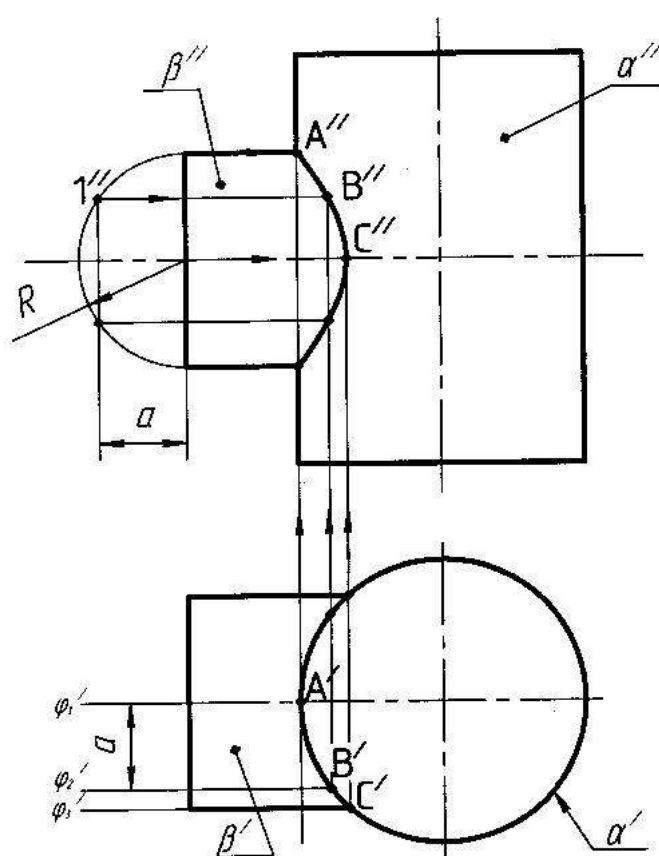


Рисунок 35 - Построение линии пересечения боковых поверхностей цилиндров

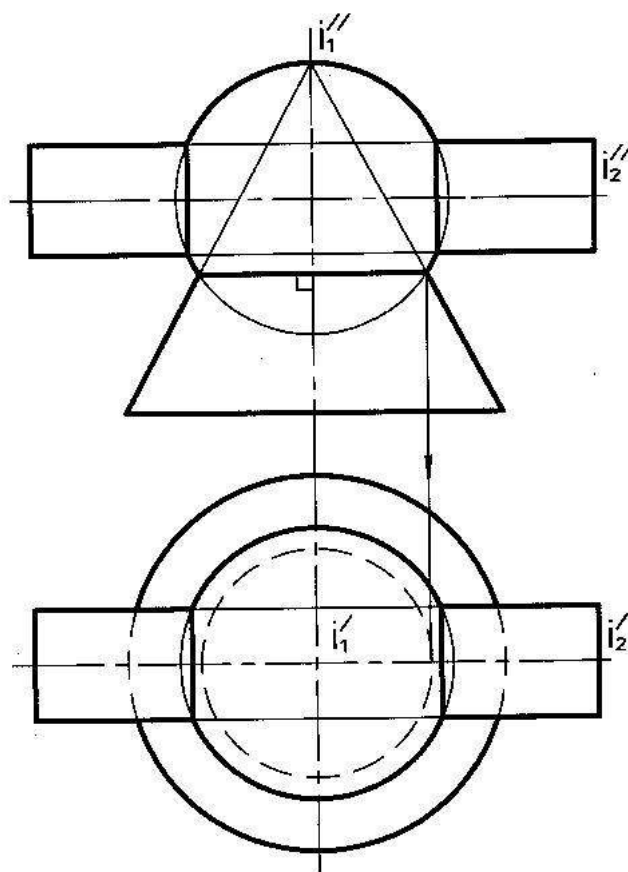


Рисунок 36 - Пересечение соосных поверхностей на ПК4

3) плоскость симметрии пересекающихся поверхностей должна быть параллельна одной из плоскостей проекций.

В данном примере (рисунок 3.7) пересекается две цилиндрические поверхности вращения α и β (полное проникание) по двум замкнутым пространственным кривым, которые на фронтальной проекции изображаются в виде гиперболы. Оси поверхностей пересекаются и задают общую плоскость симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекций. Для построения линии пересечения поверхностей, учитывая вышеизложенные условия, в качестве посредников применяются вспомогательные концентрические сферы. В каждом отдельном случае вспомогательная сфера является соосной поверхностью с заданными цилиндрическими поверхностями, которые она пересекает по окружностям. Фронтальная проекция этих окружностей – отрезки прямых линий, пересекаясь между собой, дают фронтальные проекции точек линий пересечения.

Минимальный радиус $R_{\min}$ вспомогательной сферы, описанной из точки пересечения осей – O , будет равен половине диаметра большего (вертикального) цилиндра. Вспомогательная сфера касается вертикального цилиндра по окружности и пересекает поверхность наклонного цилиндра по двум окружностям. Эти окружности проецируются на фронтальную плоскость проекции в виде отрезков, на пересечении которых отмечаем характерные точки B'' и F'' (наиболее близкие к оси l''_1). Максимальный радиус $R_{\max}$ полезной вспомогательной сферы равен расстоянию от точки O до наиболее удаленной точки пересечения очерковых образующих – точек D'' и K'' . Промежуточные точки C'' и G'' находим используя вспомогательную сферу радиусом в интервале $R_{\min} - R_{\max}$.

В зависимости от выбора центра вспомогательных концентрических сфер во многом определяется рациональность решения задачи. Так на рисунке 3.8 за центр O вспомогательных концентрических сфер принята точка S – вершина конуса, тогда отчетливо прослеживается построение точек линии пересечения поверхностей.

Сравнивая решение аналогичной задачи с применением вспомогательных секущих плоскостей (рисунок 3.4), можно отметить, что решение на рисунке 3.8 является более точным и менее трудоемким, если необходимо построить только фронтальную проекцию.

3.2.6 Теорема Монжа

Если две поверхности второго порядка α и β описаны вокруг третьей поверхности второго порядка γ или вписаны в неё, то они пересекаются по кривым второго порядка (эллипсам a и b). Плоскости этих кривых δ и ε проходят через прямую CD , соединяющую точки их пересечения C и D (рисунок 3.9).

Этот случай часто встречается при пересечении цилиндрических поверхностей одинакового диаметра как на наружной поверхности детали, так и в отверстиях (рисунок 3.10).

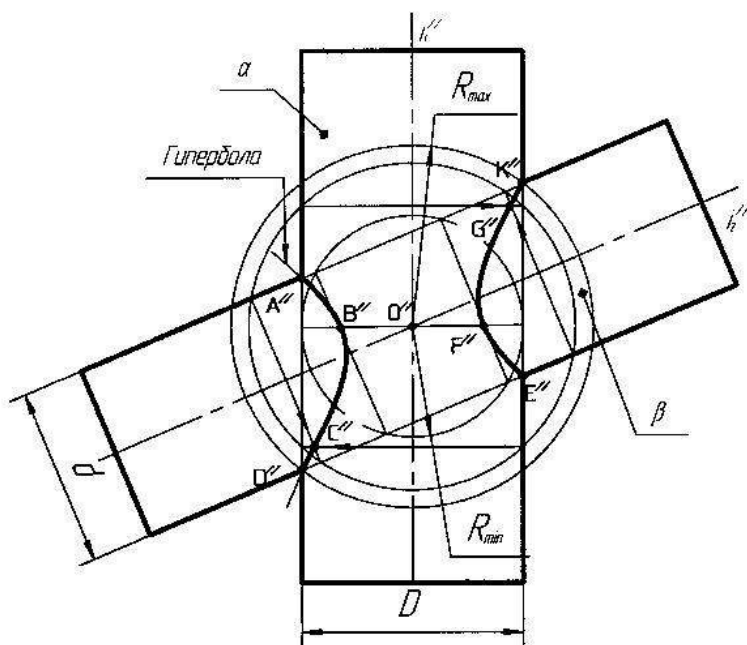


Рисунок 3.7 – Построение линии пересечения цилиндрических поверхностей методом концентрических сфер

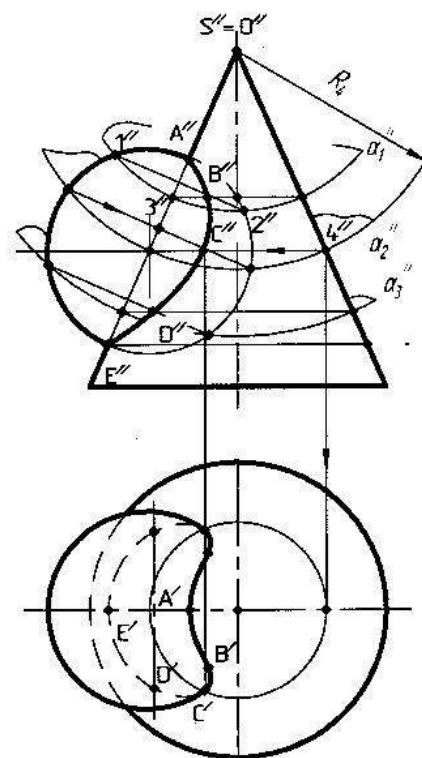


Рисунок 3.8 – Построение линии пересечения поверхностей способом концентрических сфер

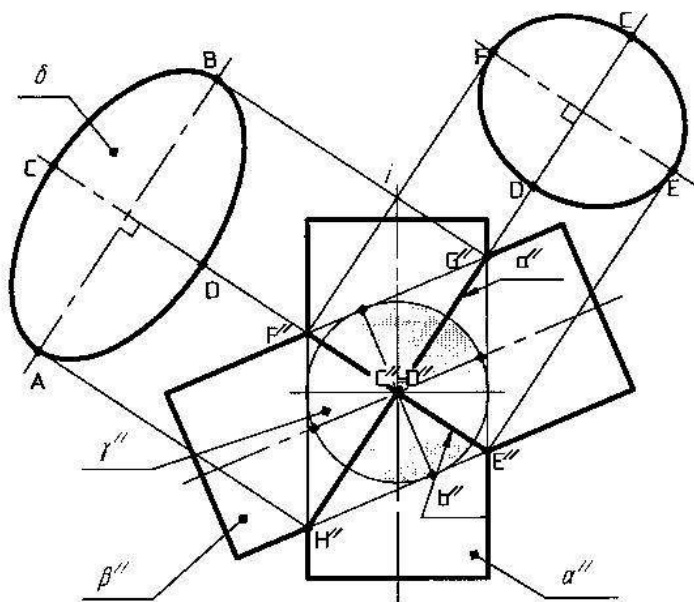


Рисунок 3.9 – Построение линии пересечения поверхностей второго порядка (теорема Г. Монжа)

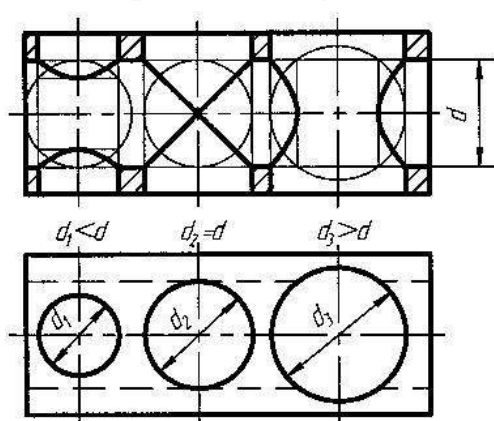
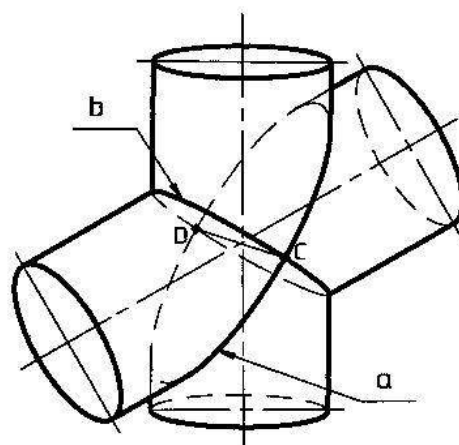


Рисунок 3.10 – Характер линии пересечения цилиндрических поверхностей в зависимости от соотношения их диаметров (внутри детали)

3.2.7 Пересечение проецирующих поверхностей

На рисунке 3.11 на прямой треугольной призме представлено пересечение фронтально-проецирующей цилиндрической поверхности α с горизонтально-проецирующей призматической поверхностью β (полное проникание) и горизонтально-проецирующей поверхностью отверстия γ внутри. Так как пересекаются две проецирующие поверхности, то на чертеже имеются две проекции искомой линии пересечения – горизонтальная и фронтальная, их только следует выявить и обозначить. Профильную проекцию этих линий легко построить по двум известным, измеряя координаты точек y от принятой базы отсчета BO_y и по принадлежности точек 1 и 5 соответствующему ребру призмы. Заметим, что линия 1-2-3-4-5 есть дуга эллипса, по которой боковая грань призмы пересекает цилиндрическую поверхность α ; задняя грань призмы пересекает цилиндрическую поверхность α по окружности.

Аналогично строится линия пересечения двух призматических поверхностей на рисунке 3.12.

3.2.8 Способ эксцентрических сфер

Этот способ применяется, когда одна из поверхностей является поверхностью вращения, а вторая содержит семейство круговых сечений, причем обе поверхности имеют общую плоскость симметрии, параллельную одной из плоскостей проекции, на которую круговые сечения поверхности проецируются в виде прямых линий. С помощью эксцентрических сфер при соблюдении указанных выше требований, можно, например, построить линии пересечения:

- а) любой поверхности вращения и кругового кольца (тора);
- б) сферы с поверхностью второго порядка, содержащей круговые сечения;
- в) любой поверхности вращения и эллиптического цилиндра или конуса.

На рисунке 3.13 пересекается торовая поверхность α и коническая поверхность β . Оси заданных поверхностей – скрещивающиеся прямые. Обе поверхности имеют общую плоскость симметрии $\gamma(\gamma_H)$. Точки А и Д являются характерными, как расположенные на пересечении очерков. Промежуточные точки находим следующим образом:

- 1) проводим секущую плоскость $\delta(\delta_F)$, которая пересекает поверхность тора по окружности, проецирующуюся на фронтальную плоскость проекций отрезком $1''-2''$;
- 2) из середины отрезка O_δ'' проводим перпендикуляр до пересечения с i_K'' и отмечаем точку O_B'' ;
- 3) из точки O_B'' описываем окружность радиусом R , проходящую через точки $1''$ и $2''$, которая пересекает очерковые конуса в точках $3''$ и $4''$. Отрезок $3''4''$ есть проекция окружности по которой, вспомогательная сфера радиусом R с центром на оси конуса, пересекает его боковую поверхность.
- 4) на пересечении отрезков $1''2''$ и $3''4''$ отмечаем видимую точку B'' , точка ей симметричная B_1'' является невидимой. Другую промежуточную точку $C(C^d, C'')$ строим аналогично, используя круговое сечение тора плоскостью $\omega(\omega_F)$.

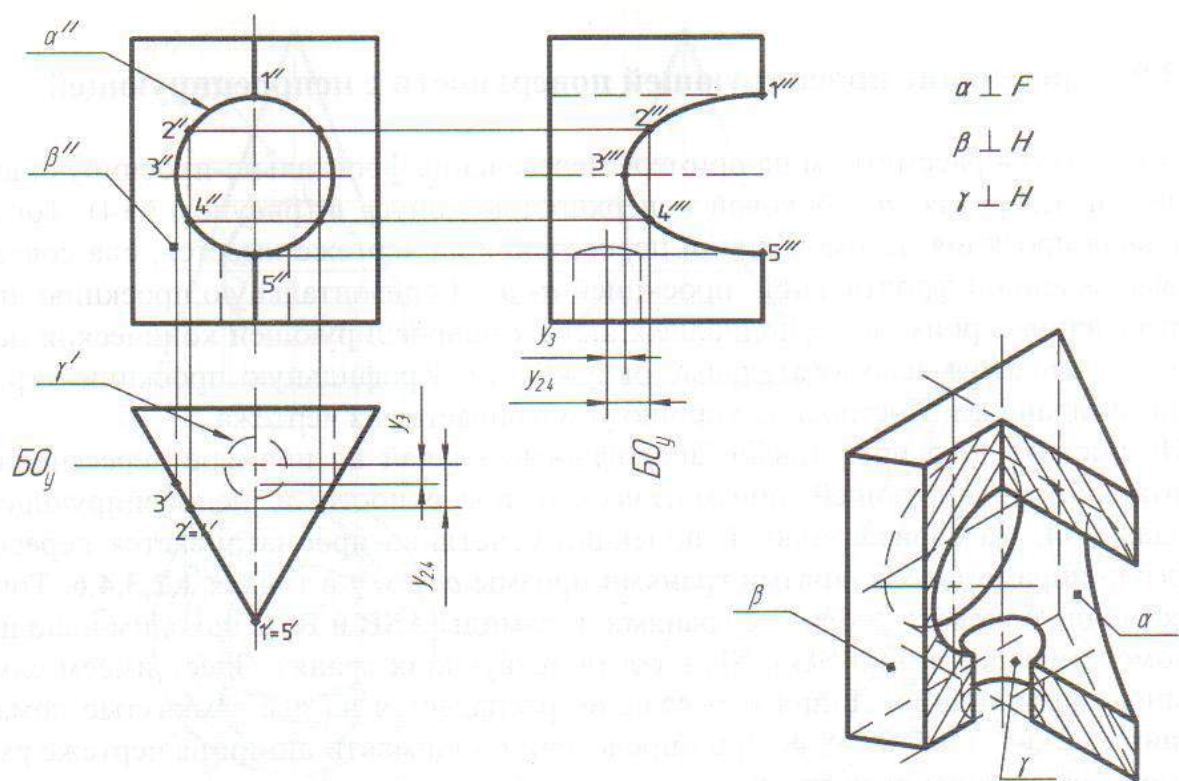


Рисунок 3.11- Пересечение проецирующих поверхностей

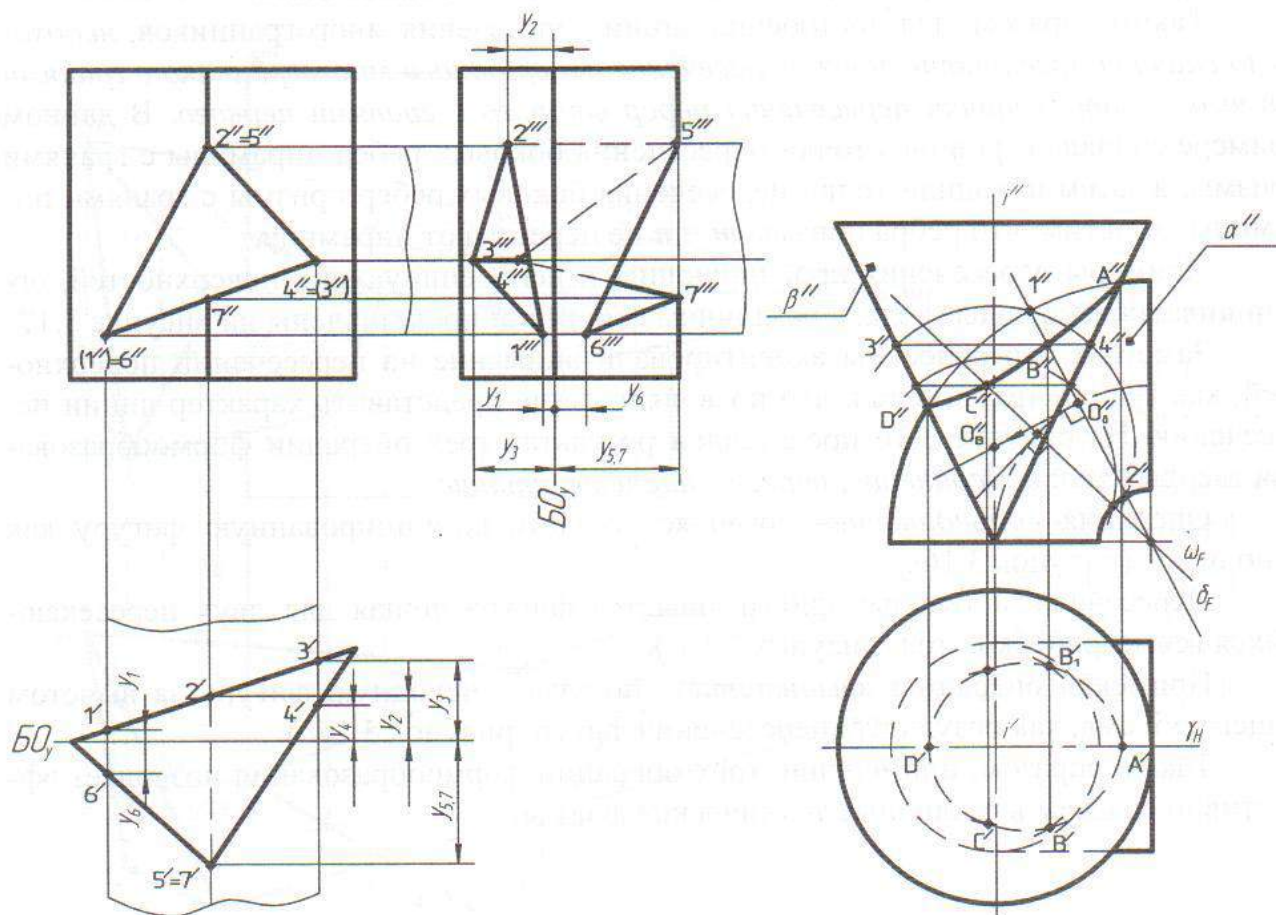


Рисунок 3.12 – Пересечение призматических поверхностей

Рисунок 3.13 – Построение линии пересечения поверхностей способом эксцентрических сфер

3.2.9 Пересечение проецирующей поверхности с непроекцирующей

Этот случай рассмотрим на примере пересечения фронтально-проецирующей поверхности отверстия α с боковой поверхностью конуса β (рисунок 3.14). Тогда фронтальная проекция искомой линии пересечения на чертеже имеется, она совпадает с вырожденной фронтальной проекцией $\alpha - \alpha''$. Горизонтальную проекцию линии пересечения строим по ее принадлежности к непроекцирующей конической поверхности, используя вспомогательные окружности. Профильную проекцию строим по двум заданным. Построение хорошо усматривается из чертежа.

На рисунке 3.15 представлен аналогичный случай на примере пересечения горизонтально-проецирующей призматической поверхности и непроекцирующей пирамидальной. На горизонтальной проекции отчетливо просматривается пересечение ребер пирамиды с боковыми гранями призмы α , β и γ в точках 1, 2, 3, 4, 6. Точки пересечения бокового ребра k с гранями пирамиды ASB и BSC находим используя вспомогательные линии SL и SE в соответствующих гранях. Здесь имеем случай полного проникновения. Линия пересечения распадается на две замкнутые ломаные линии: 1-2-3-1 и 4-5-6-7-8-4. При определении видимости линии на чертеже руководствуются следующими правилами: если отрезок принадлежит двум видимым граням на одном поле проекций, то линия (1''-2'' и 1''-3'') будет видимой, если принадлежит хотя бы одной невидимой грани – линия (2''-3'') невидима.

Таким образом, для построения линии пересечения многогранников, необходимо сначала построить точки пересечения ребер одного многогранника с гранями другого, а затем точки пересечения ребер второго с гранями первого. В данном примере сначала строились точки пересечения боковых ребер пирамиды с гранями призмы, а затем находили точки пересечения боковых ребер призмы с гранями пирамиды. Заметим, что ребра призмы m и n не пересекают пирамиду.

Примеры пересечения проецирующих и непроекцирующих поверхностей, ограничивающих твердые тела, в различном сочетании представлены на рисунке 3.17.

Заметим, что ранее мы акцентировали внимание на пересечении поверхностей, как границ твердых тел, что позволяло легче представить характер линии пересечения. На рисунке 3.16 представлен результат трех операций формообразования твердых тел: объединение, пересечение и вычитание.

Операция «объединение» позволяет создать комбинированную фигуру как одно целое (рисунок 3.16в).

Пересечением твердых фигур является фигура общая для двух пересекающихся геометрических тел (рисунок 3.16г).

Применяя операцию «вычитание», получаем исходную фигуру за вычетом общего объема, как результата пересечения фигур (рисунок 3.16д).

Таким образом, применение трех операций формообразования позволяет эффективно создавать различные технические формы.

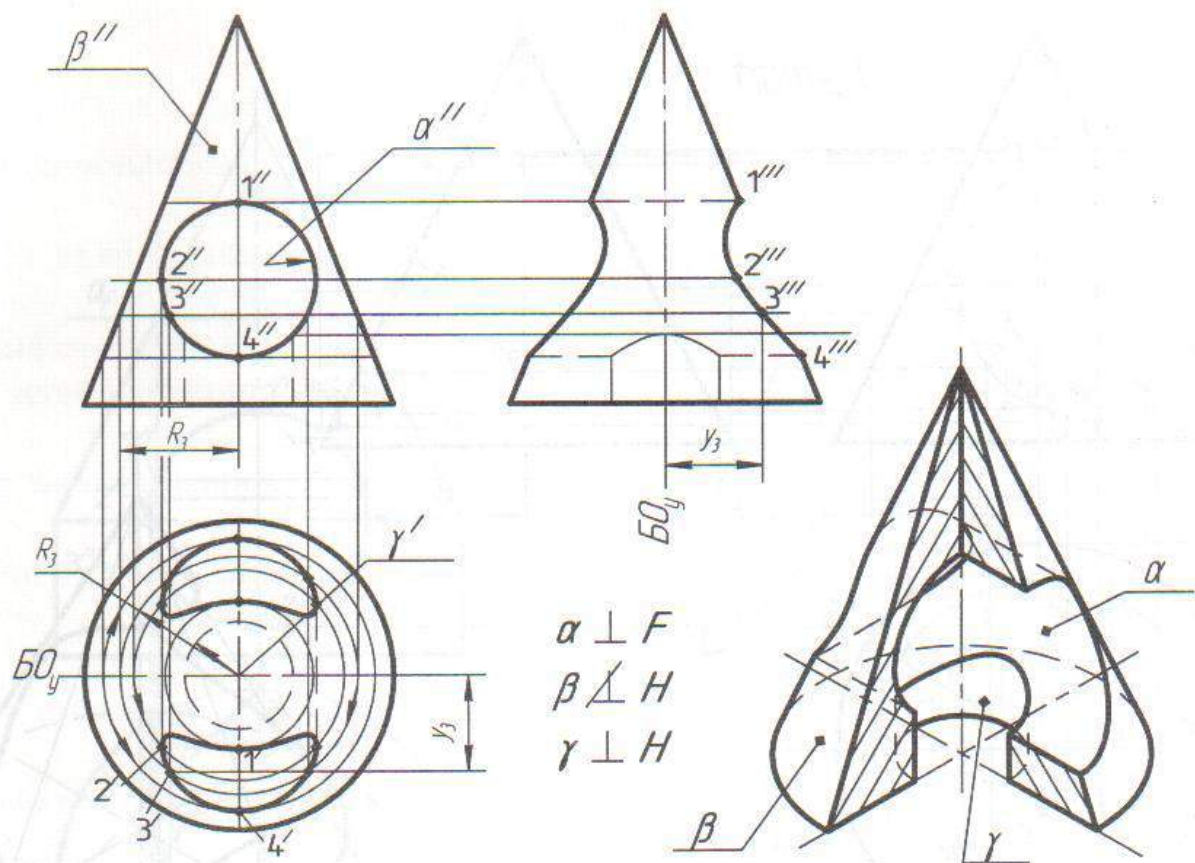


Рисунок 3.14 – Пересечение проецирующих и непроекцирующих поверхностей

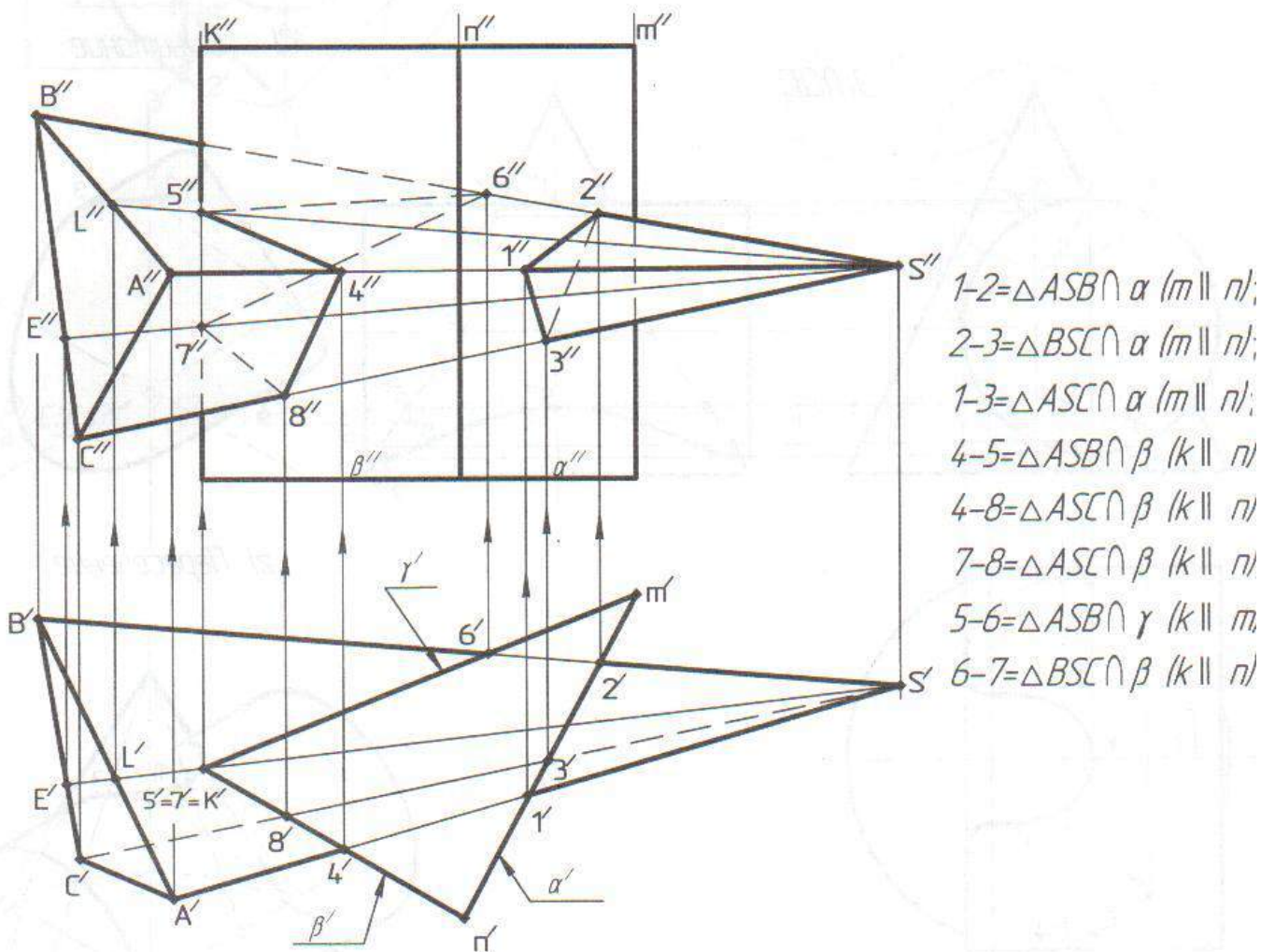
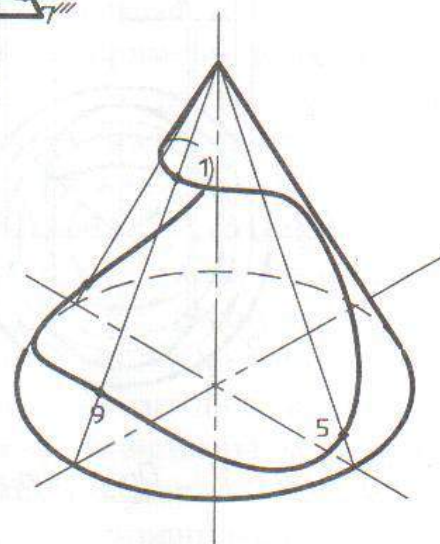
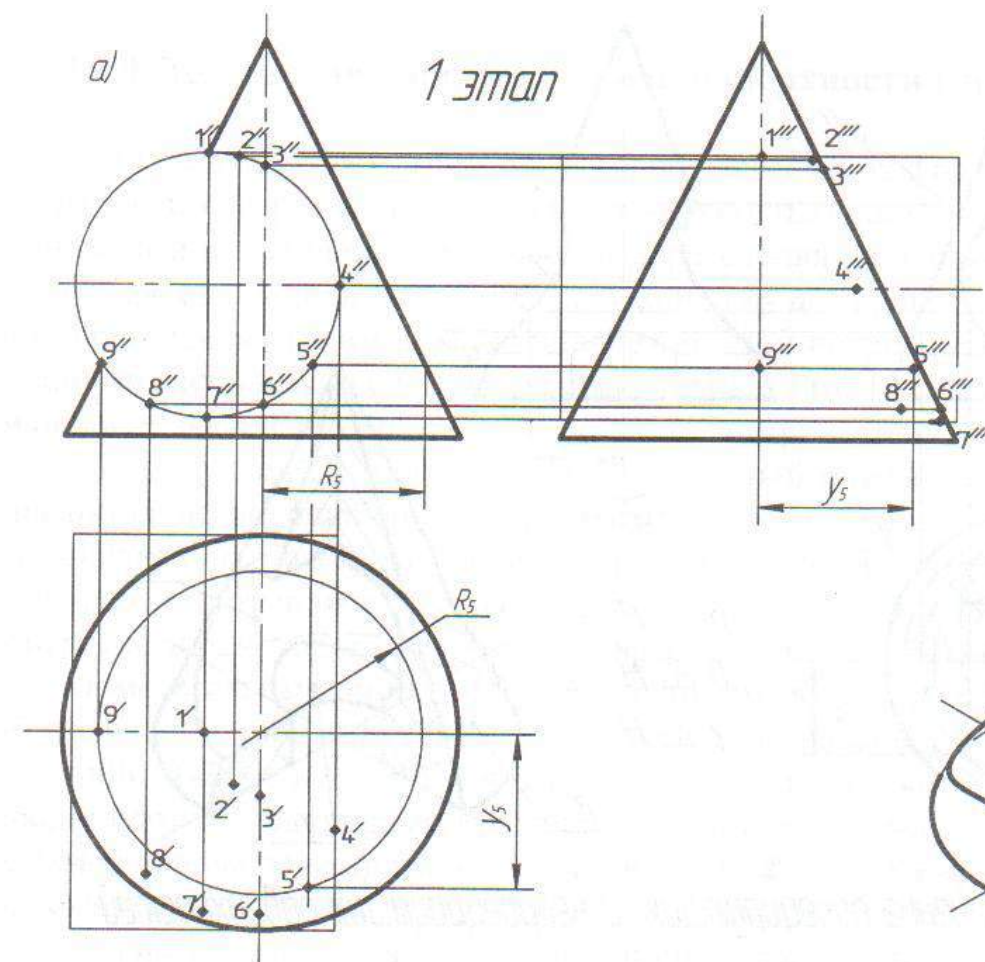
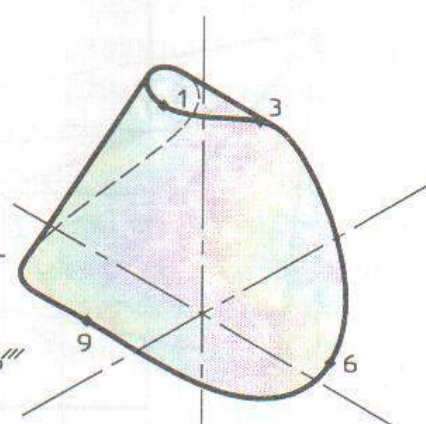
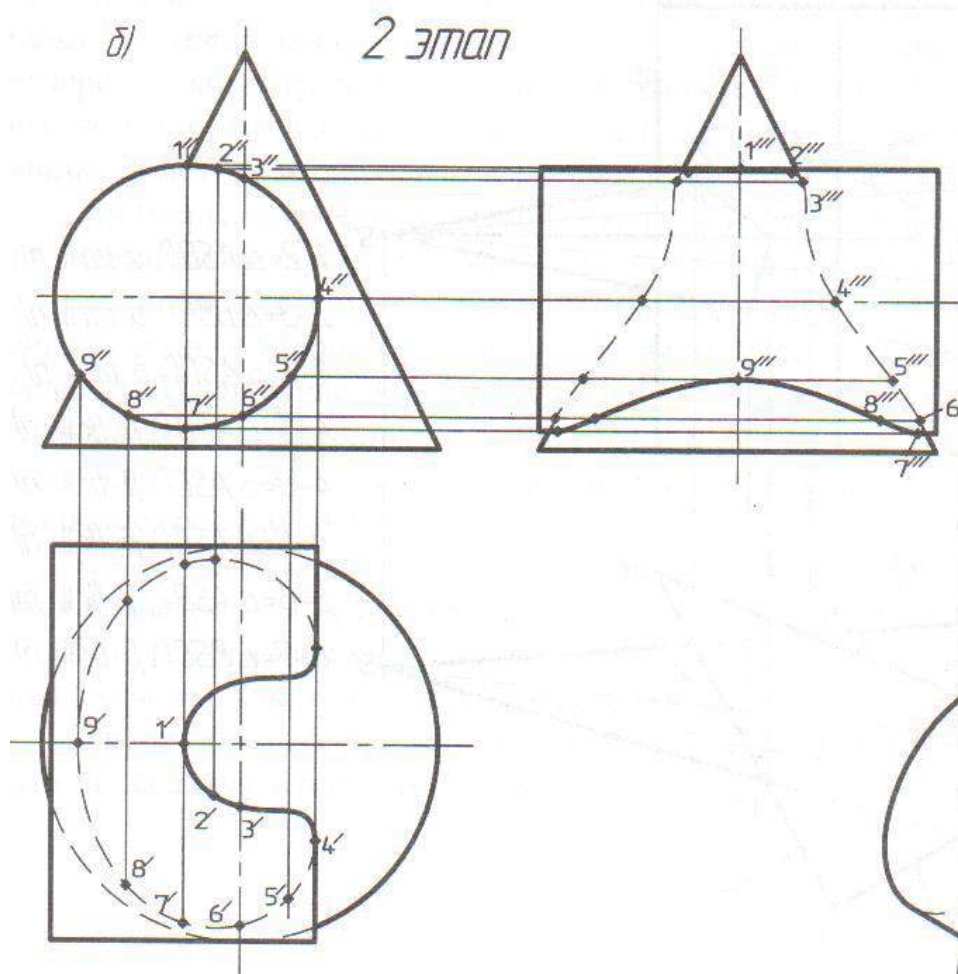


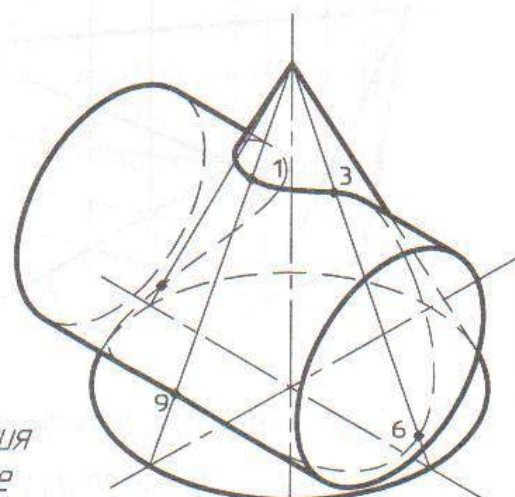
Рисунок 3.15 – Пересечение призматической (проецирующей) и пирамидальной (непроекцирующей) поверхностей



а) Вычитание



б) Пересечение



в) Объединение

Рисунок 3.16 – Поэтапное построение линии пересечения поверхностей конуса и цилиндра (частичное врезание). Формообразование твердых тел

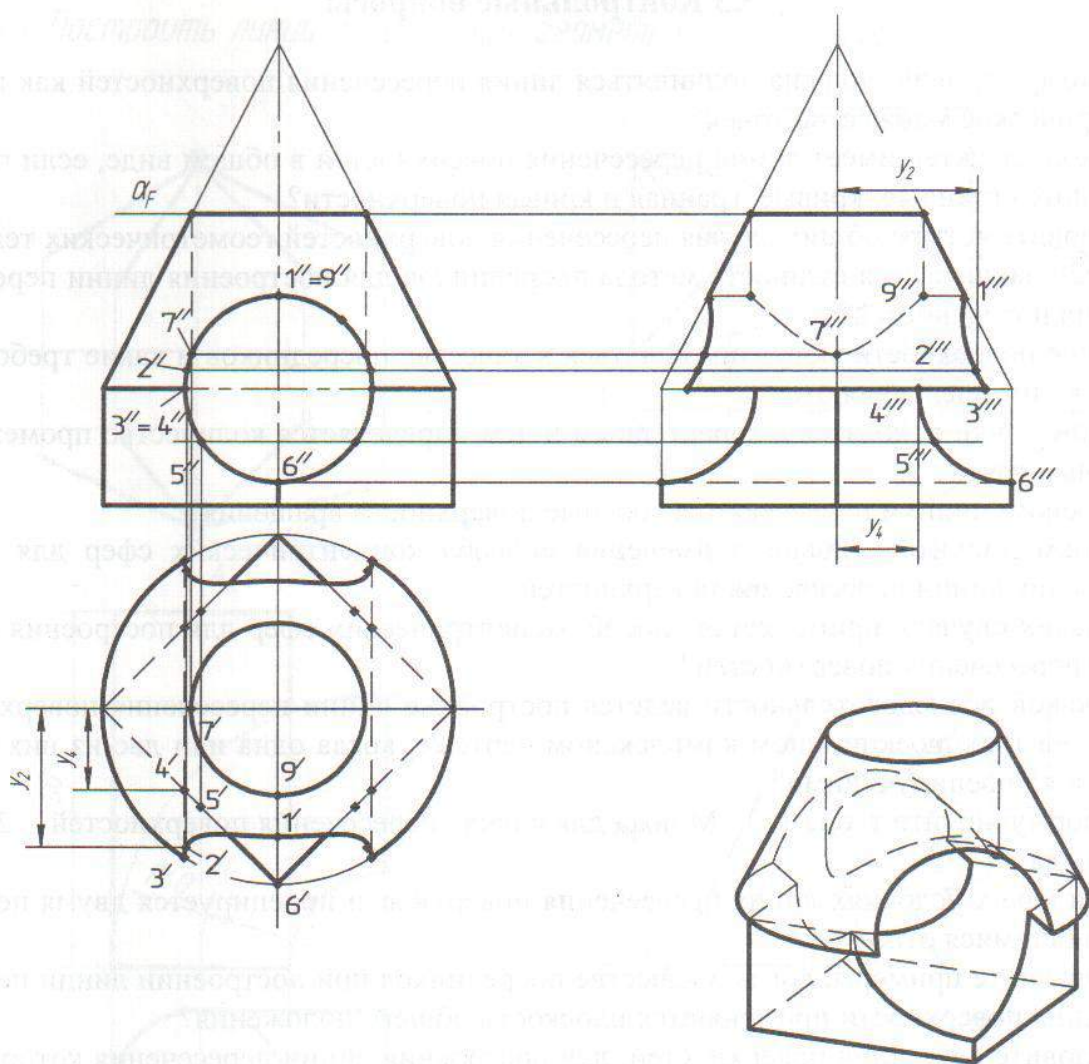


Рисунок 3.17 – Пересечение поверхностей на комбинированной фигуре

3.3 Контрольные вопросы

1. Какому условию должна подчиняться линия пересечения поверхностей как геометрическое множество точек?
2. Какой характер имеет линия пересечения поверхностей в общем виде, если пересекаются гранные, кривые, гранная и кривая поверхности?
3. Назовите четыре общих случая пересечения поверхностей геометрических тел?
4. В чем заключается сущность метода посредников для построения линии пересечения поверхностей?
5. Какие поверхности могут применяться в качестве посредников и какие требования к ним предъявляются?
6. Какие точки относятся к характерным и чем определяется количество промежуточных точек?
7. По каким линиям пересекаются соосные поверхности вращения?
8. Сформулируйте условие применения способа концентрических сфер для построения линии пересечения поверхностей?
9. В каких случаях применяется способ эксцентрических сфер для построения линии пересечения поверхностей?
10. В какой последовательности ведется построение линии пересечения поверхностей на трехпроекционном комплексном чертеже, когда одна или две из них являются проецирующими?
11. Сформулируйте теорему Г. Монжа для случая пересечения поверхностей 2-го порядка?
12. При каких условиях линия пересечения поверхности проецируется двумя пересекающимися отрезками?
13. Приведите примеры, когда в качестве посредников при построении линии пересечения поверхности применяются плоскости общего положения?
14. Назовите сочетания поверхностей, для построения линии пересечения которых, применяется способ концентрических сфер?
15. Назовите сочетания поверхностей, для построения линии пересечения которых, применяется способ концентрических сфер?
16. Назовите сочетания поверхностей, для построения линии пересечения которых, применяется способ эксцентрических сфер?
17. Сформулируйте общий принцип построения линии пересечения многогранных поверхностей?
18. Какими правилами руководствуются при установлении видимости линии пересечения поверхностей на ПКЧ?
19. Каким образом должны проходить вспомогательные плоскости-посредники в случае пересечения: а) двух безвершинных поверхностей; б) вершинной и безвершинной; в) двух вершинных поверхностей, если поверхности занимают общее положение?

3.4 Упражнения

3.4.1. Построить линии пересечения геометрических фигур (рисунок 3.18 а-е)

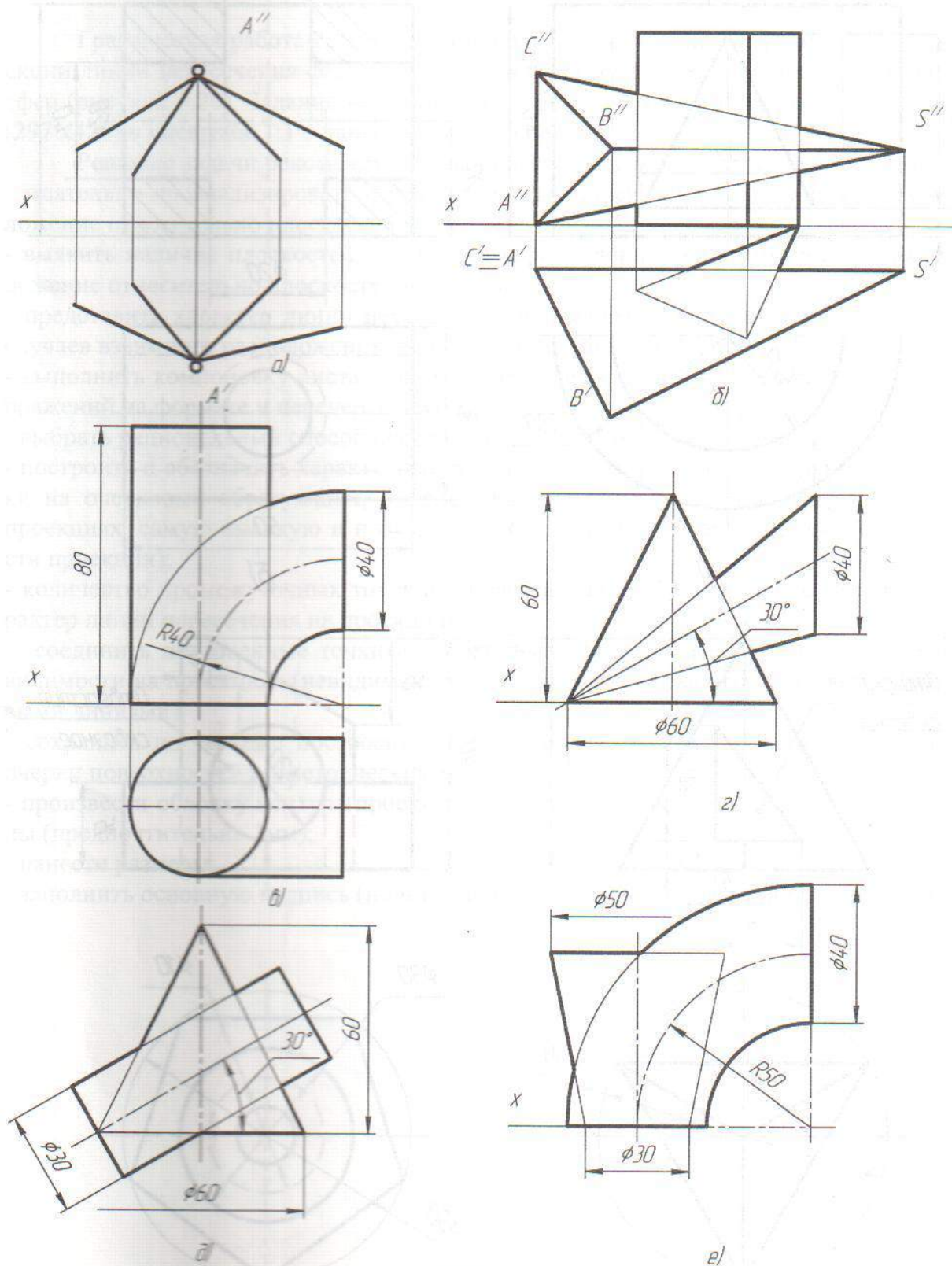


Рисунок 3.18

3.4.2 Построить три проекции деталей (рисунок 3.19 а-г)

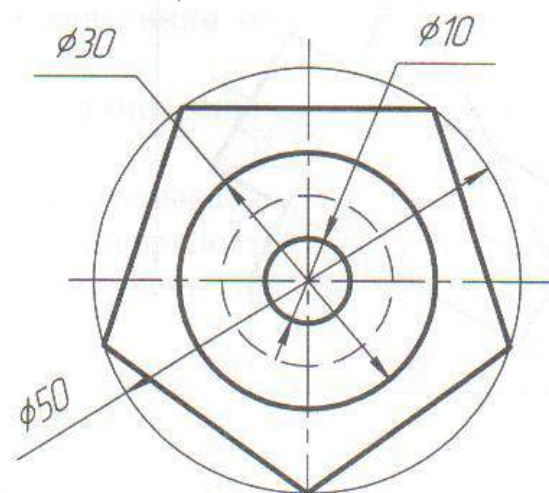
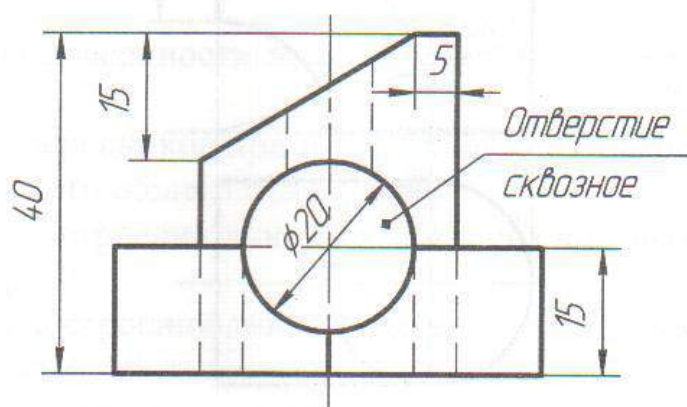
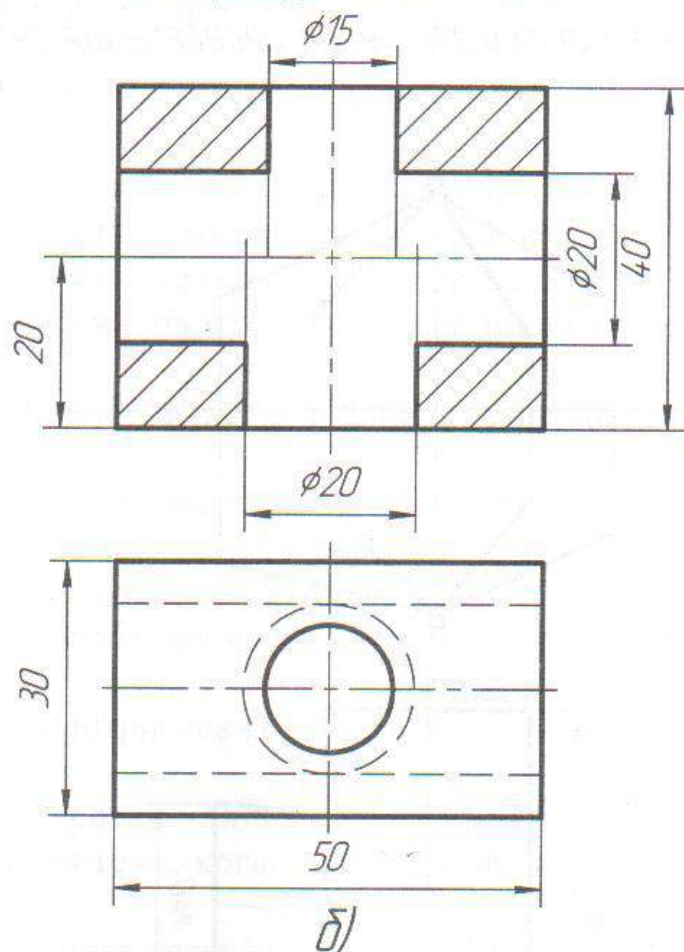


Рисунок 3.19

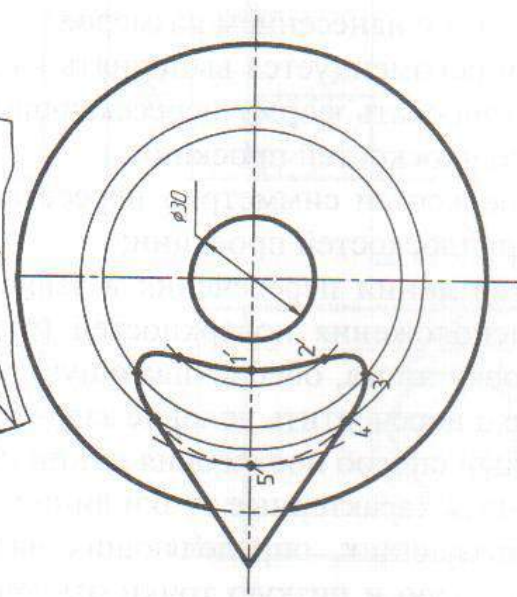
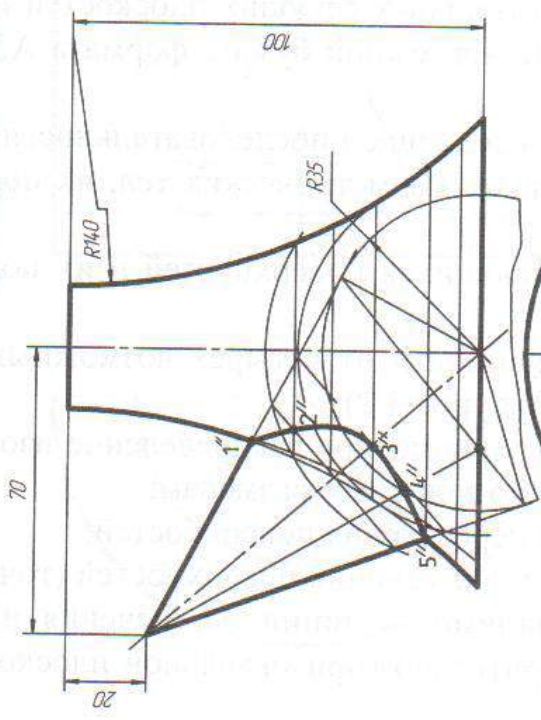
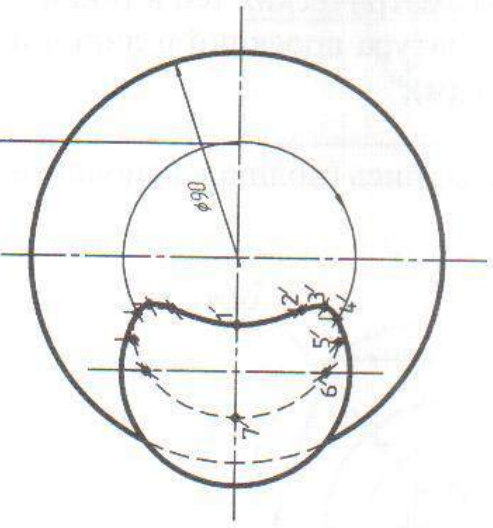
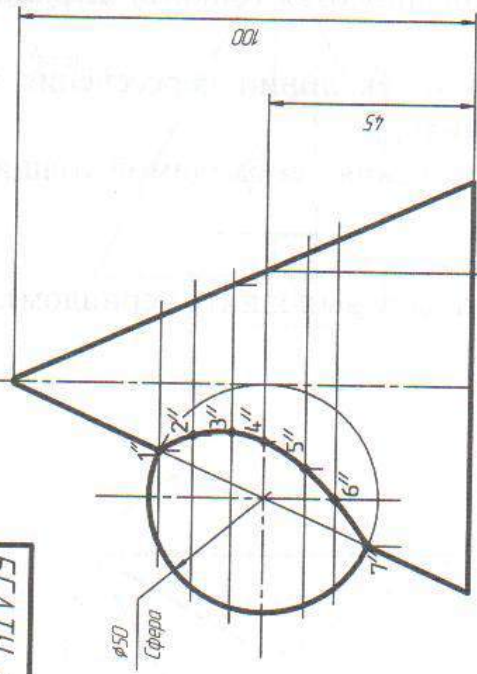
3.5 Методические указания по выполнению индивидуальных графических работ

Графическая работа требует построения горизонтальной и фронтальной проекции линии пересечения фигур способом вспомогательных секущих плоскостей и сфер (рисунок 3.20). Задание выполняется на белой чертежной бумаге формата А3 (297 x 420) в масштабе 1:1 с нанесением размеров.

Решение задачи рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

- тщательно проанализировать форму пересекающихся геометрических тел, их положение относительно плоскостей проекций;
- выявить наличие плоскостей симметрии пересекающихся поверхностей и их положение относительно плоскостей проекции;
- представить характер линии пересечения в зависимости от четырех возможных случаев взаимного расположения поверхностей (рисунок 3.1);
- выполнить компоновку листа, обеспечивающую равномерное распределение изображений на формате и перерисовать условие задач по заданным размерам;
- выбрать рациональный способ построения линии пересечения поверхностей;
- построить и обозначить характерные точки линии пересечения поверхностей (точки на очерковых образующих, определяющих видимость линии пересечения на проекциях, самую высокую и низкую точки относительно горизонтальной плоскости проекции);
- количество промежуточных точек выбирается таким образом, чтобы выявить характер линии пересечения на проекциях;
- соединить построенные точки в необходимой последовательности с учетом их видимости на проекциях (невидимые участки линии соединяются тонкими штриховыми линиями);
- сохранить на чертеже построения промежуточных точек линии пересечения и очерки поверхностей геометрических тел в тонких линиях;
- произвести обводку контура проекций и линии пересечения необходимой толщины (предпочтительно 1 мм);
- нанести размеры;
- заполнить основную надпись (подпись исполнителя и дату выполнить чернилом).

БГАТУ. ИГ.03.01.000



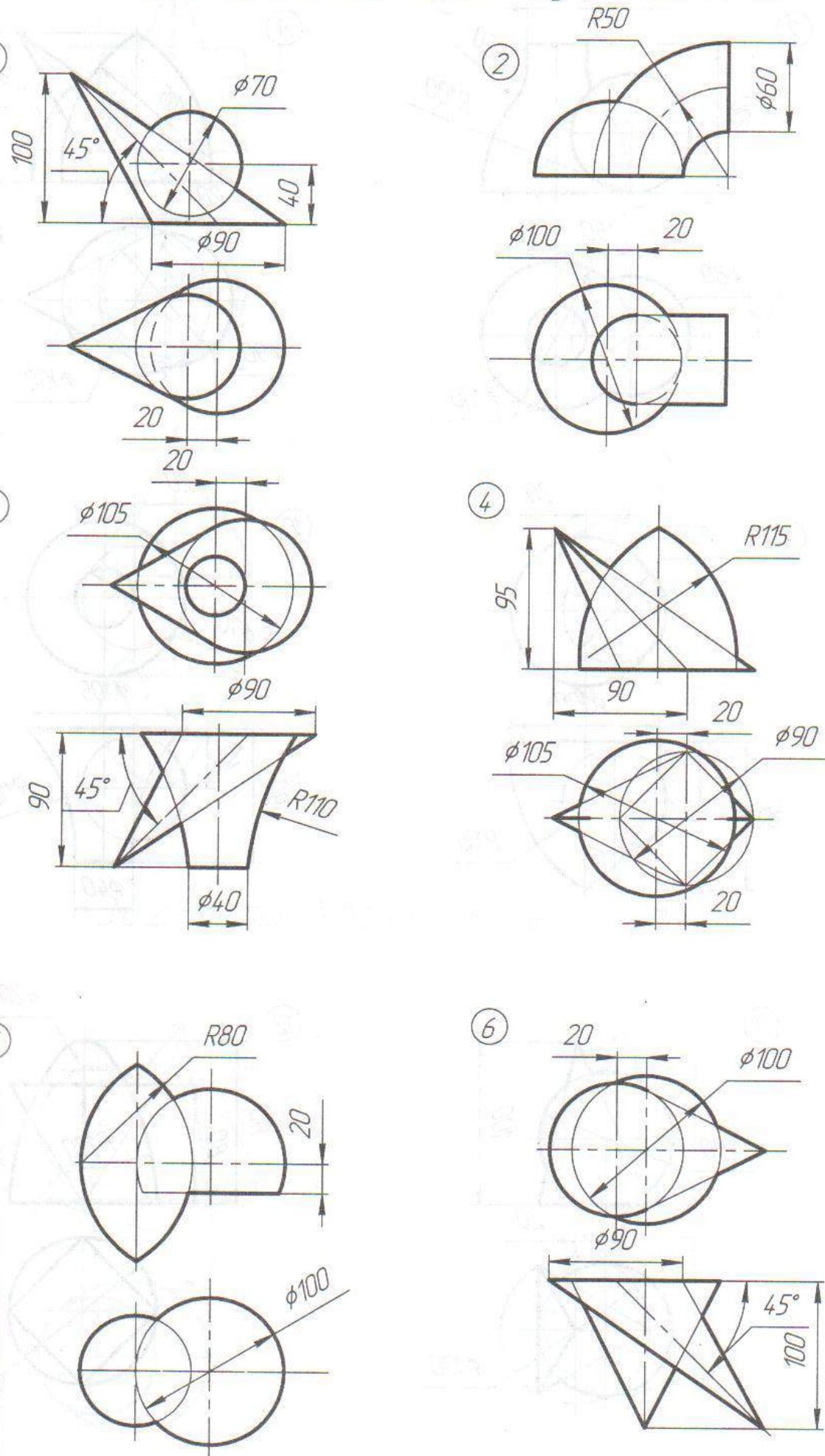
БГАТУ. ИГ.03.01.000									
Пересечение поверхностей									
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Имя	Лист
Резав	Исход	АА			Резав	Исход	АА		
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Имя	Лист
Резав	Исход	АА			Резав	Исход	АА		
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Имя	Лист
Резав	Исход	АА			Резав	Исход	АА		
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист

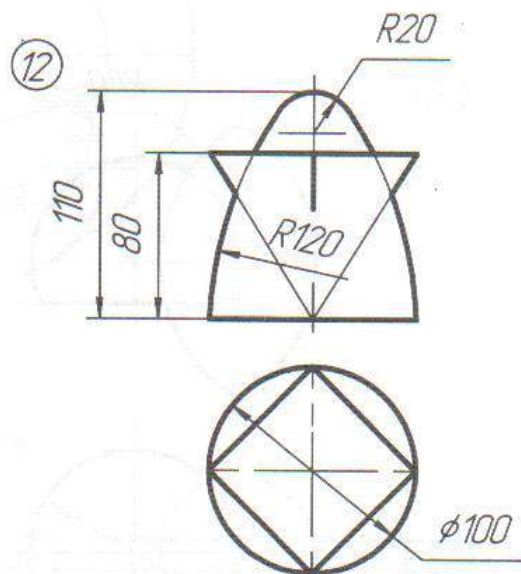
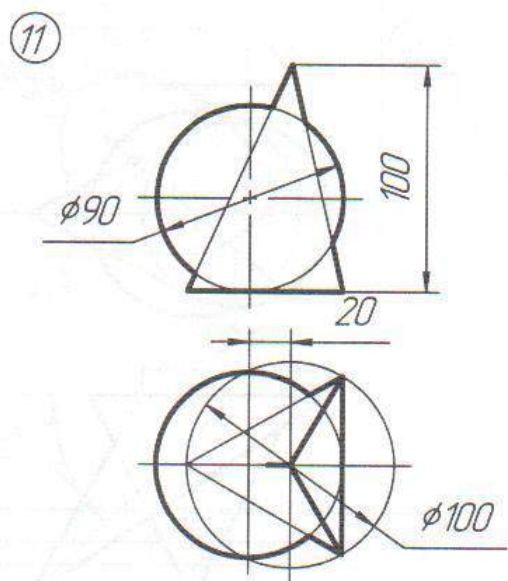
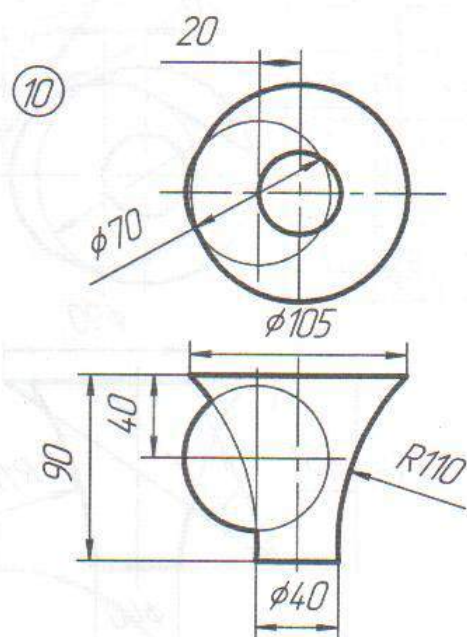
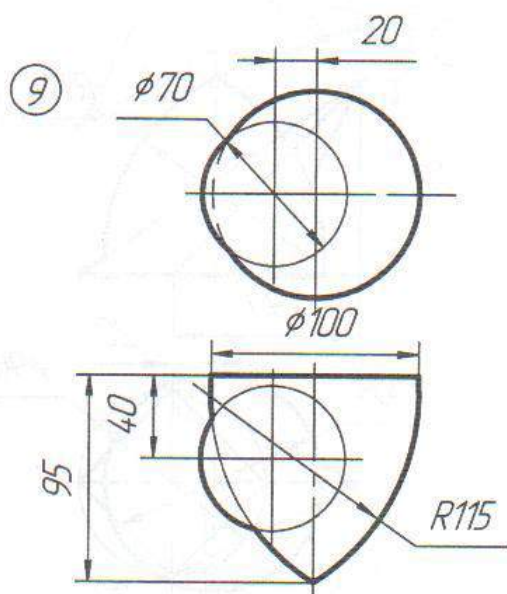
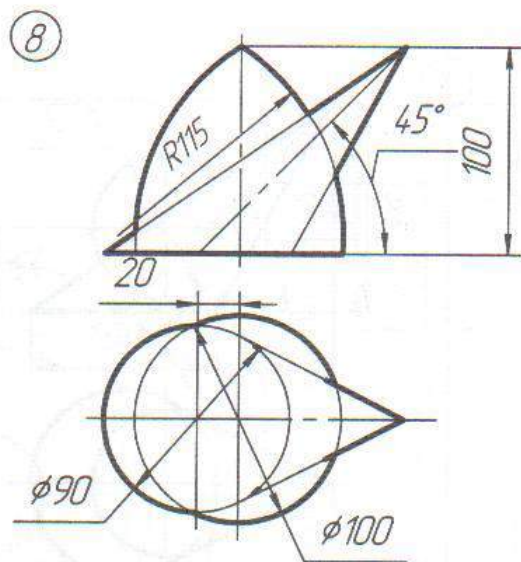
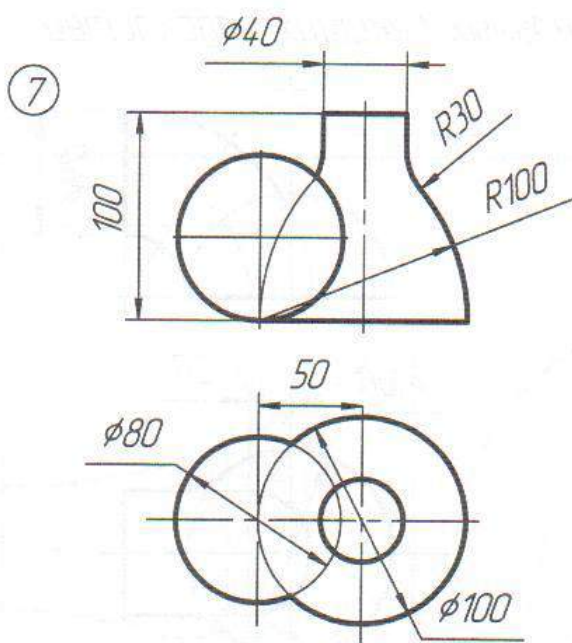
Гр. 13

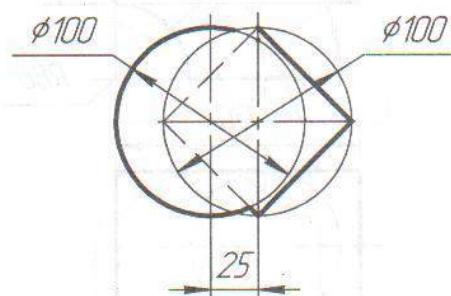
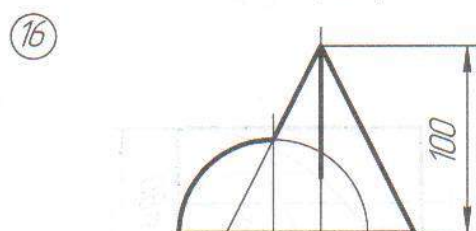
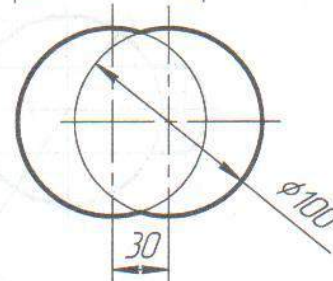
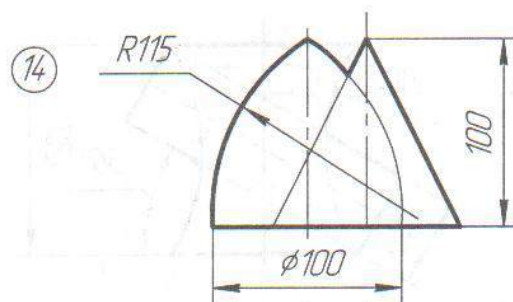
Рисунок 3.20 – Пример выполнения ИГР

3.6 Варианты условий индивидуальных графических работ

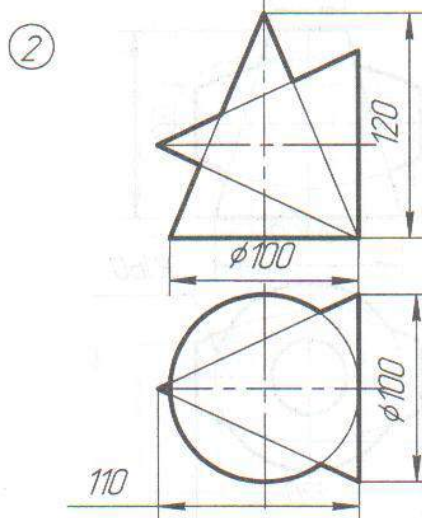
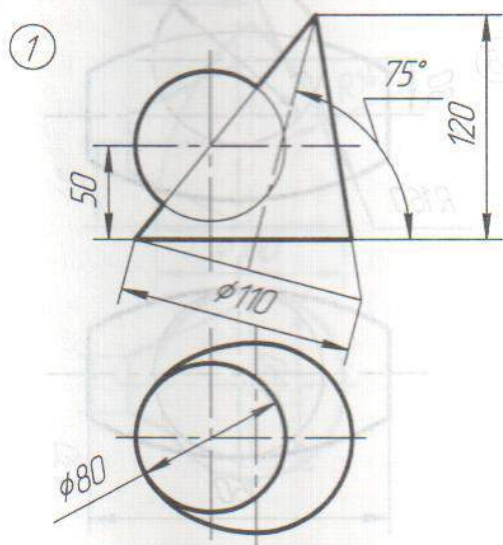
3.6.1 На способ вспомогательных секущих плоскостей

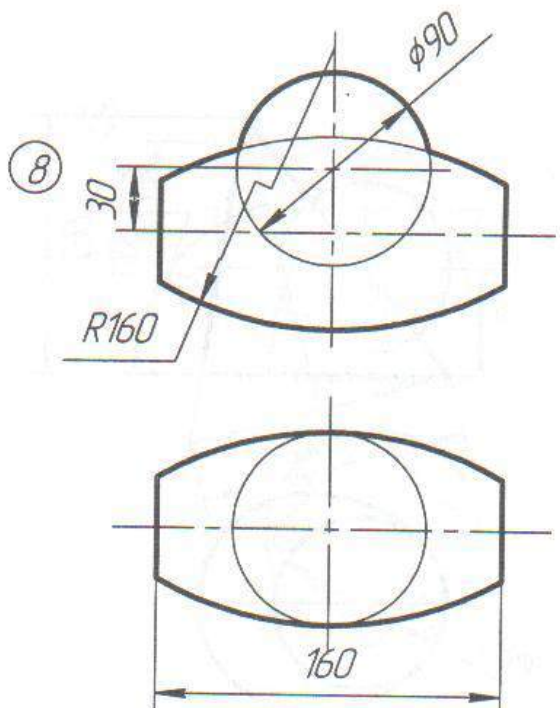
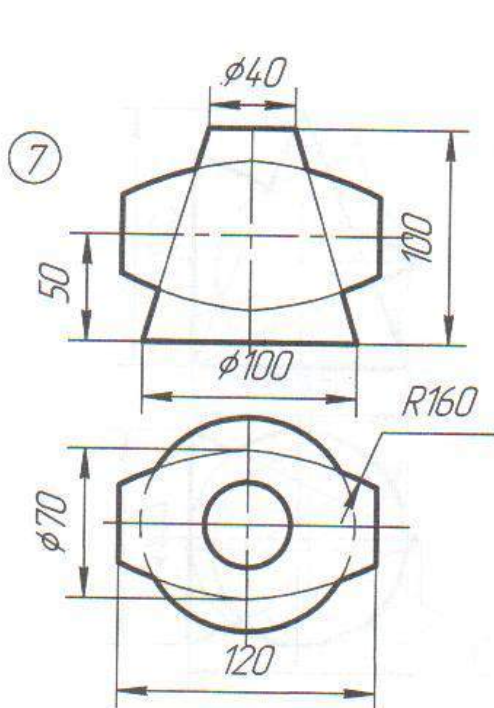
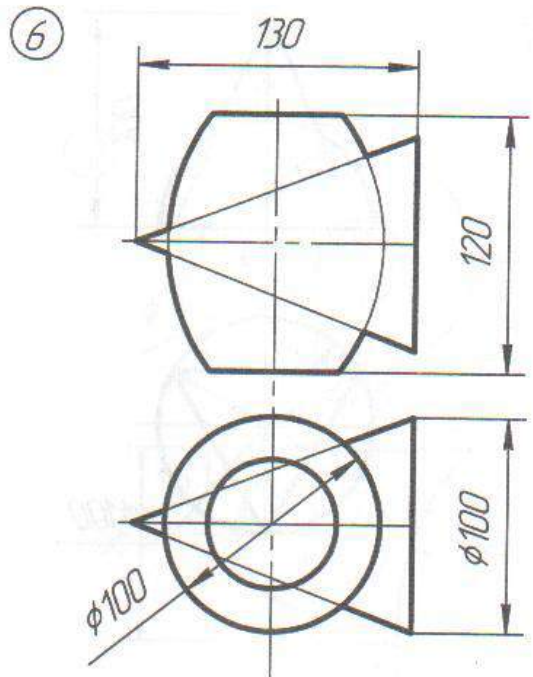
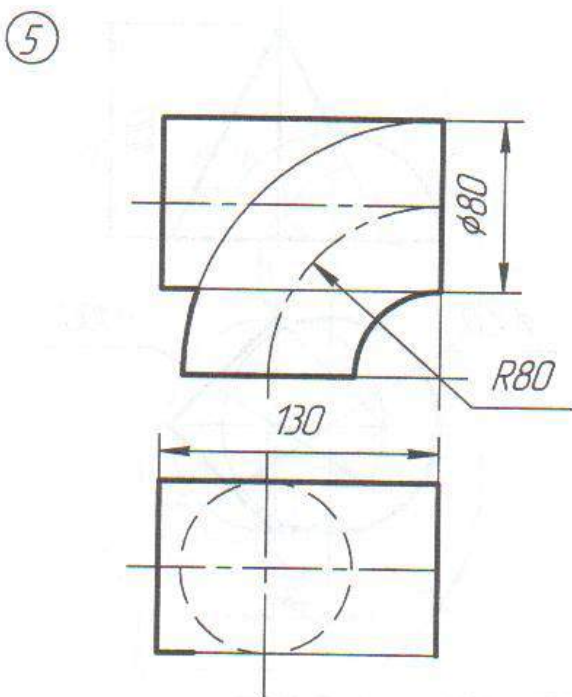
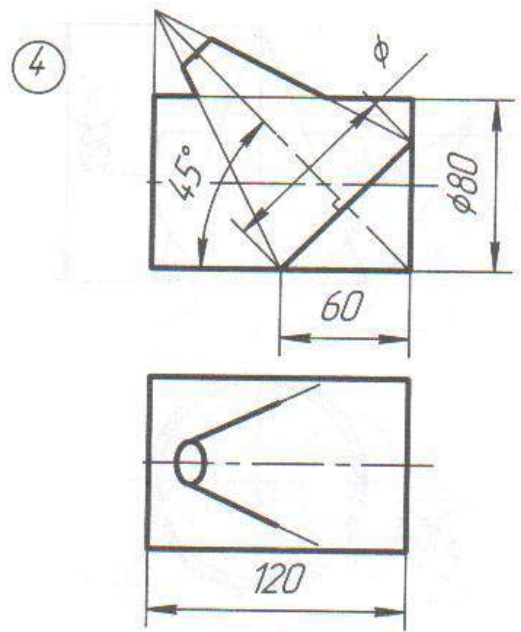
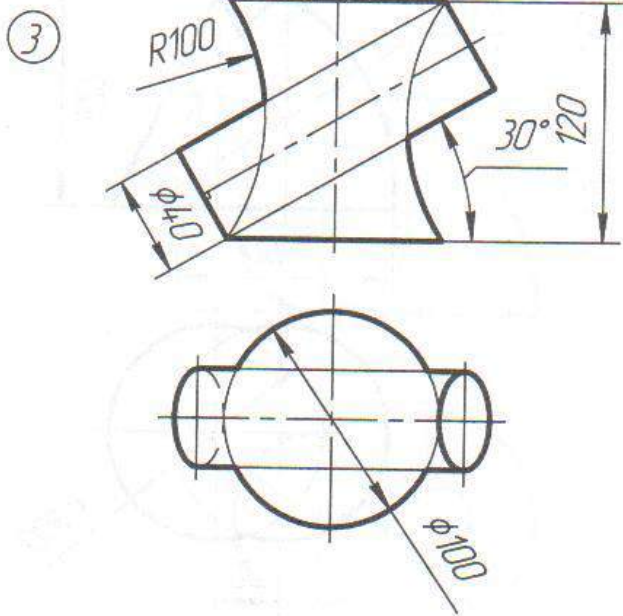


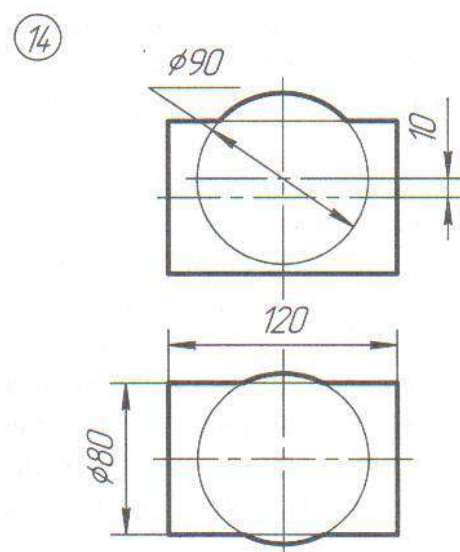
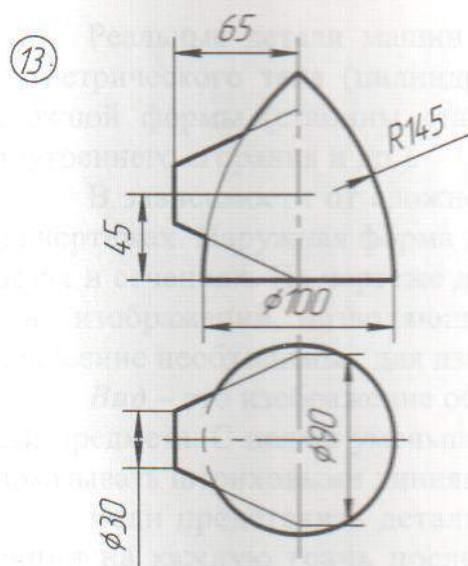
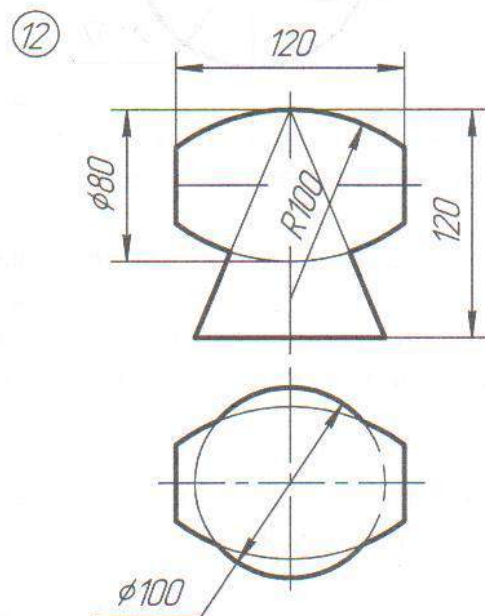
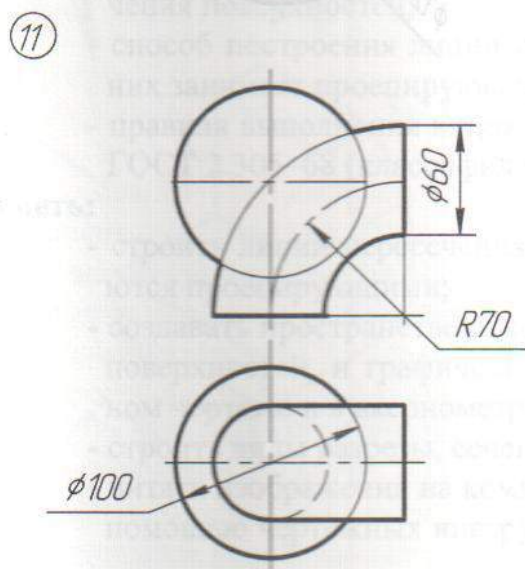
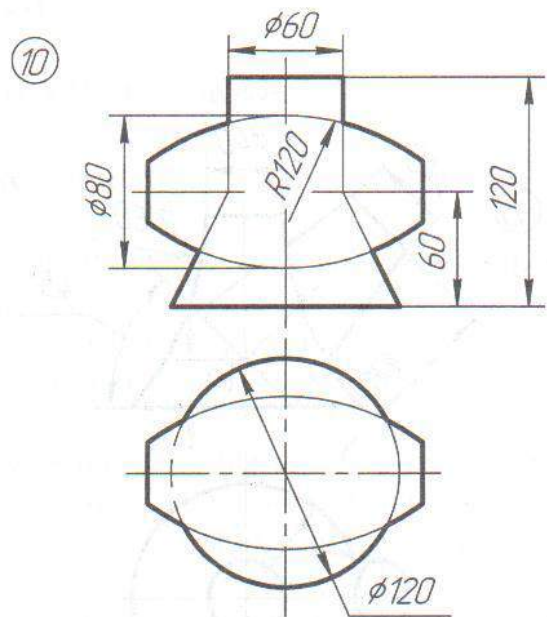
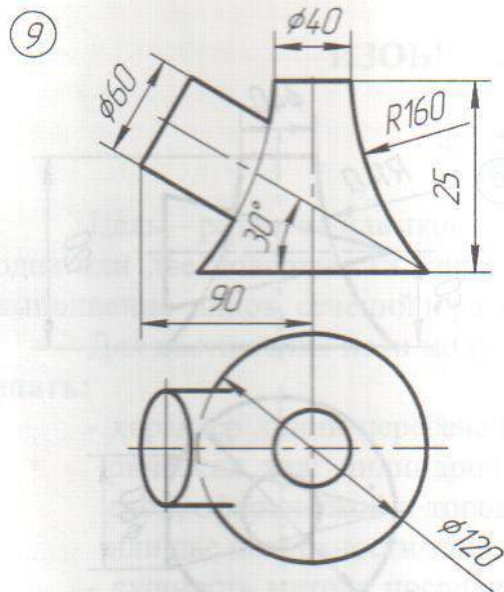


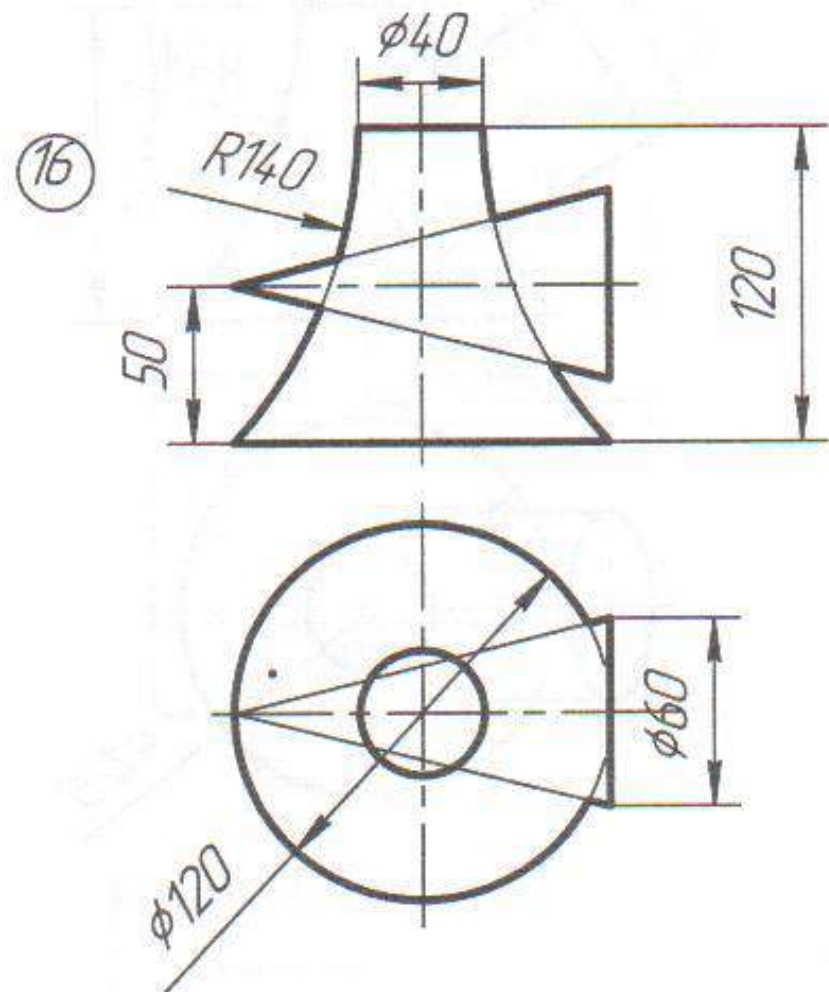
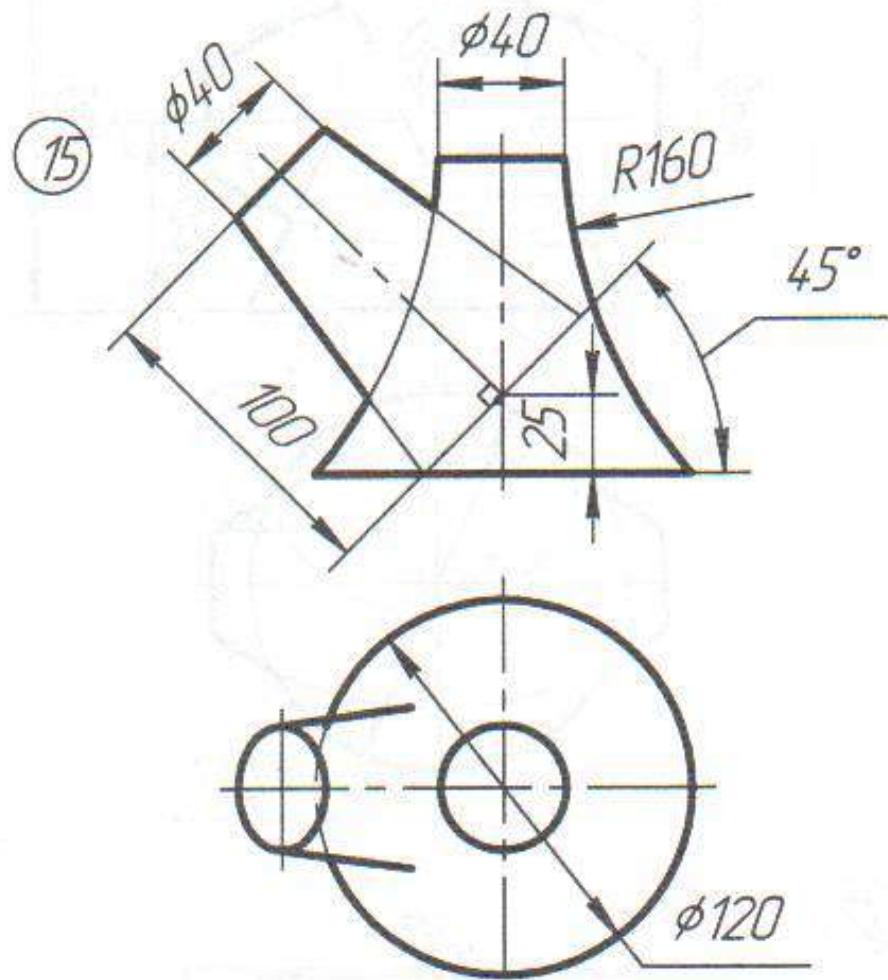


3.6.2 На способ вспомогательных сфер









МОДУЛЬ 4

ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ

4.1 Комплексная цель

Цель – развитие навыков построения линий пересечения поверхностей, когда одна или две поверхности занимают проецирующее положение и на этой основе выполнение видов, сечений и разрезов на технических чертежах.

Для достижения цели модуля студент должен:

знать:

- характер линии пересечения поверхностей в зависимости от вида, геометрических тел: цилиндрической, призматической, пирамидальной, конической, сферической и торовой в различном их парном сочетании, когда одна или две поверхности занимает проецирующее положение;
- сущность метода посредников – общего метода построения линии пересечения поверхностей;
- способ построения линии пересечения поверхности, когда одна или две из них занимает проецирующее положение;
- правила выполнения видов, разрезов и сечений на комплексном чертеже по ГОСТ 2.305–68 (классификация, обозначение, условности и упрощения);

уметь:

- строить линии пересечения поверхностей, когда одна или две из них являются проецирующими;
- создавать пространственные конфигурации, содержащие линии пересечения поверхностей, и графически их моделировать на проекционном комплексном чертеже и в аксонометрии;
- строить виды разрезы, сечения на комплексном чертеже;
- читать изображения на комплексном чертеже и визуализировать эскизно и с помощью чертежных инструментов образ детали в аксонометрии.

4.2 Виды (ГОСТ 2.305–68)

Реальные детали машин имеют самые разнообразные формы: от простого геометрического тела (цилиндр, конус, шар – тела качения в подшипниках) до сложной формы (станины станков; блок цилиндров, коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания и др.).

В зависимости от сложности формы определяется количество изображений на чертежах. Наружная форма детали отображается на видах, внутренняя – на разрезах и сечениях. На чертеже должно быть **минимальное**, но достаточное количество изображений, позволяющих легко представить форму детали и обеспечить нанесение необходимых для изготовления размеров.

Вид – это изображение обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета. С целью уменьшения количества изображений на видах допускается показывать штриховыми линиями невидимые части поверхности предмета.

Если представить деталь, расположенную внутри полого куба, то её проекции на каждую грань после совмещения в одну плоскость определяют шесть основных видов, расположение которых представлено на рисунке 4.1: 1 – глав-

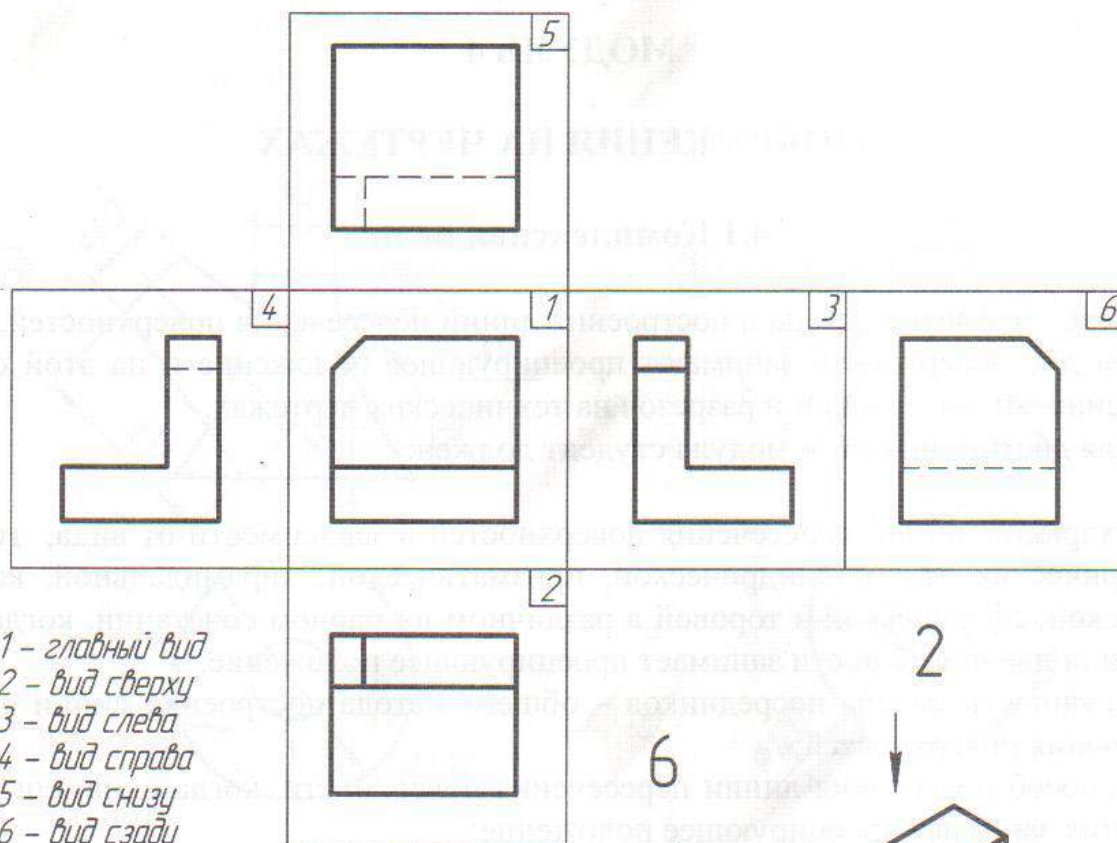


Рис.4.1. Расположение основных видов на комплексном чертеже "Метод Е".

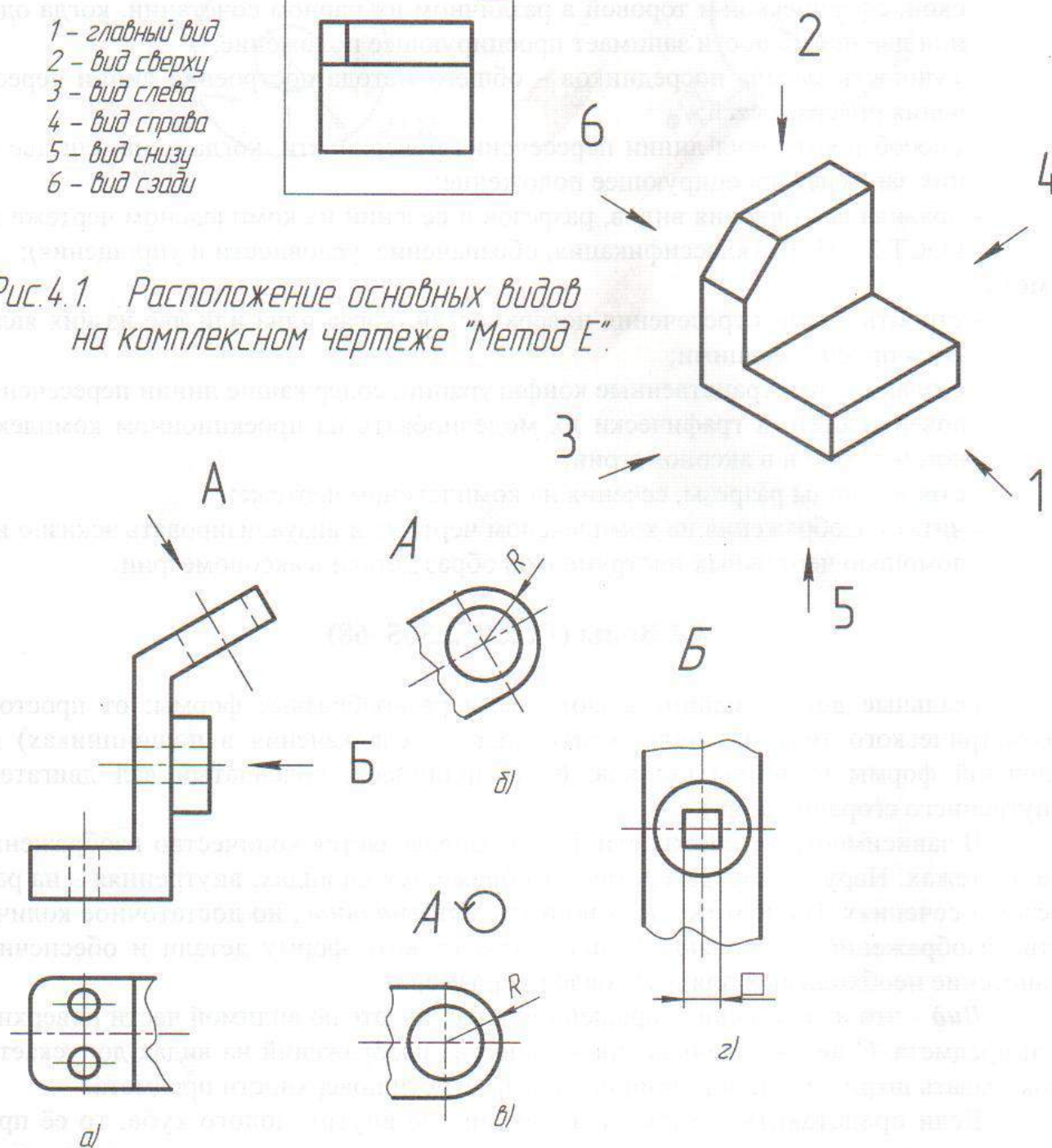


Рис.4.2. Дополнительный и местный виды.

ный вид (вид спереди); 2 – вид сверху; 3 – вид слева; 4 – вид справа; 5 – вид снизу; 6 – вид сзади. Такое расположение видов соответствует европейскому методу (Метод Е). Расположение видов, когда вид справа располагается справа от главного вида, вид сверху – сверху от главного вида и т. д. (зеркальное отображение) соответствует американскому методу (Метод А). Кроме основных видов, на чертеже могут выполняться и **дополнительные виды** – изображение предмета или его части без искажения формы и размеров на дополнительную плоскость проекций, не параллельную основным плоскостям проекций (рисунок 4.2, б). Если дополнительный вид расположен не в проекционной связи, то указывается направление взгляда стрелкой и над видом надписывается соответствующая буква. Если дополнительный вид повернут, то обозначение вида дополняется условным графическим обозначением «Повернуто»  (рисунок 4.2, в).

Местный вид – это изображение отдельного, ограниченного места поверхности предмета. Его можно получить как на основной (рисунок 4.2, а), так и на дополнительной плоскости проекций (рисунок 4.2, г). Местный вид ограничивается тонкой волнистой линией или может быть показан замкнутый контур части детали.

4.3 Разрезы (ГОСТ 2.305–68)

Разрез – это изображение предмета, мысленного рассеченного одной или несколькими плоскостями, при этом мысленное рассечение предмета относится только к данному разрезу и не влечет за собой изменения других изображений того же предмета. На разрезе показывают то, что получается в секущей плоскости и что расположено за ней. Заметим, что часть детали, расположенная между наблюдателем и секущей плоскостью мысленно удаляется.

Разрез может выполняться одной плоскостью – **простой**, двумя и более плоскостями – **сложный**.

В зависимости от расположения секущей плоскости разрезы разделяются на вертикальные (фронтальные и профильные) и горизонтальные.

Исходя из сложности детали разрезы выполняются или на месте основных видов или на свободном поле чертежа. В последнем случае разрез всегда обозначается.

Разрезы рекомендуется выполнять в следующей последовательности (на примере выполнения простых разрезов рисунок 4.3).

1. Провести геометрический анализ формы предмета: разделить предмет на простейшие геометрические тела или составные части, установить наличие плоскостей симметрии детали, отверстий и пазов, их ориентацию относительно плоскостей проекций; выделить поверхности, образующие внутреннюю и внешнюю форму предмета.

В данном примере представлена относительно несложная деталь прямоугольной формы «Плита» со срезанными углами, в центре которой расположено ступенчатое цилиндрическое отверстие. Деталь имеет две плоскости симметрии. На главном виде отверстие изображено штриховыми линиями, при этом изображение вида есть **фигура** симметричная относительно проекции оси отверстия (рисунок 4.3-1).

2. Выбрать **секущую плоскость** параллельно одной из плоскостей проекций.

В качестве **секущей плоскости** выбрана плоскость симметрии детали- α (α_H).

3. Представить деталь, рассеченную этой плоскостью и часть детали расположенной за секущей плоскостью (за секущей плоскостью открывается поверхность ступенчатого отверстия).

4. Вычертить фигуру расположенную непосредственно в секущей плоскости, а также часть поверхности расположенную за ней (рисунок 4.3-2).

5. Заштриховать фигуру непосредственно в секущей плоскости в зависимости от материала детали (тонкими линиями под углом 45° с частотой от 1 до 10 мм для металлических материалов), см. приложение 3.

6. Обозначить разрез: отметить положение секущей плоскости разомкнутой линией, указать стрелками (рисунок 4.4) направление взгляда и над разрезом написать через тире две одноименные прописные буквы русского алфавита.

Обратим внимание, что стрелка отстоит на расстоянии 2...3 мм от наружного края разомкнутой линии, а буква пишется всегда снаружи.

Если секущая плоскость является плоскостью симметрии детали и разрез расположен на месте основных видов, то разрез не обозначается. В данном случае, поскольку секущая плоскость является плоскостью симметрии детали и разрез расположен на месте главного вида, обозначение разреза не требуется, то есть не указывается положение секущей плоскости и разрез не сопровождается соответствующей надписью. Отметим, что так как изображение вида (рисунок 4.3-1) и разреза (рисунок 4.3-2) есть фигуры симметричные, то допускается изображать половину вида и половину разреза, располагая разрез на месте главного вида (в данном случае), разделяя вид и разрез штрихпунктирной линией. Однако, когда на границу вида и разреза попадает сплошная основная линия (проекция ребра), то вид и разрез разделяются тонкой волнистой линией. Если ребро принадлежит наружной поверхности, то линия, разделяющая вид и разрез сдвигается в сторону разреза (рисунок 4.3 б), а в случае, когда ребро принадлежит внутренней поверхности, сдвигается в сторону вида (рисунок 4.3 в).

Сложные разрезы делятся на ступенчатые и ломаные. Ступенчатые, как и ломаные разрезы, могут выполняться двумя и более секущими плоскостями. В ступенчатых разрезах секущие плоскости параллельны между собой и плоскостям проекций (рисунок 4.5), а в ломаных – пересекаются (рисунки 4.6 и 4.7). Сечения, лежащие в параллельных секущих плоскостях, совмещаются в одну плоскость, затем выполняется разрез как простой. Место перехода от одной плоскости к другой отмечается короткими штрихами разомкнутой линии. При этом переход рекомендуется выполнять по массиву детали.

При выполнении ломаного разреза сечения поворачивают до совмещения в одну плоскость параллельную плоскости проекций; элемент детали, находящейся в наклонной секущей плоскости, поворачивается в совмещаемую плоскость. В ломаных разрезах переход от одной плоскости к другой может осуществляться по цилиндрической поверхности (рисунок 4.7).

Сложные разрезы обозначаются всегда, то есть указывается положение секущей плоскости разомкнутой линией, направление взгляда – стрелкой и сопровождаются надписью прописными одноименными буквами русского алфавита через тире по типу А-А.

При выполнении разрезов применяется ряд условностей. Так, например, тонкие стенки (ребра жесткости) при сечении плоскостью в продольном направлении показывают нерассеченными. Заметим, что в аксонометрии ребра жесткости в сечениях штрихуются всегда (рисунок 4.11).

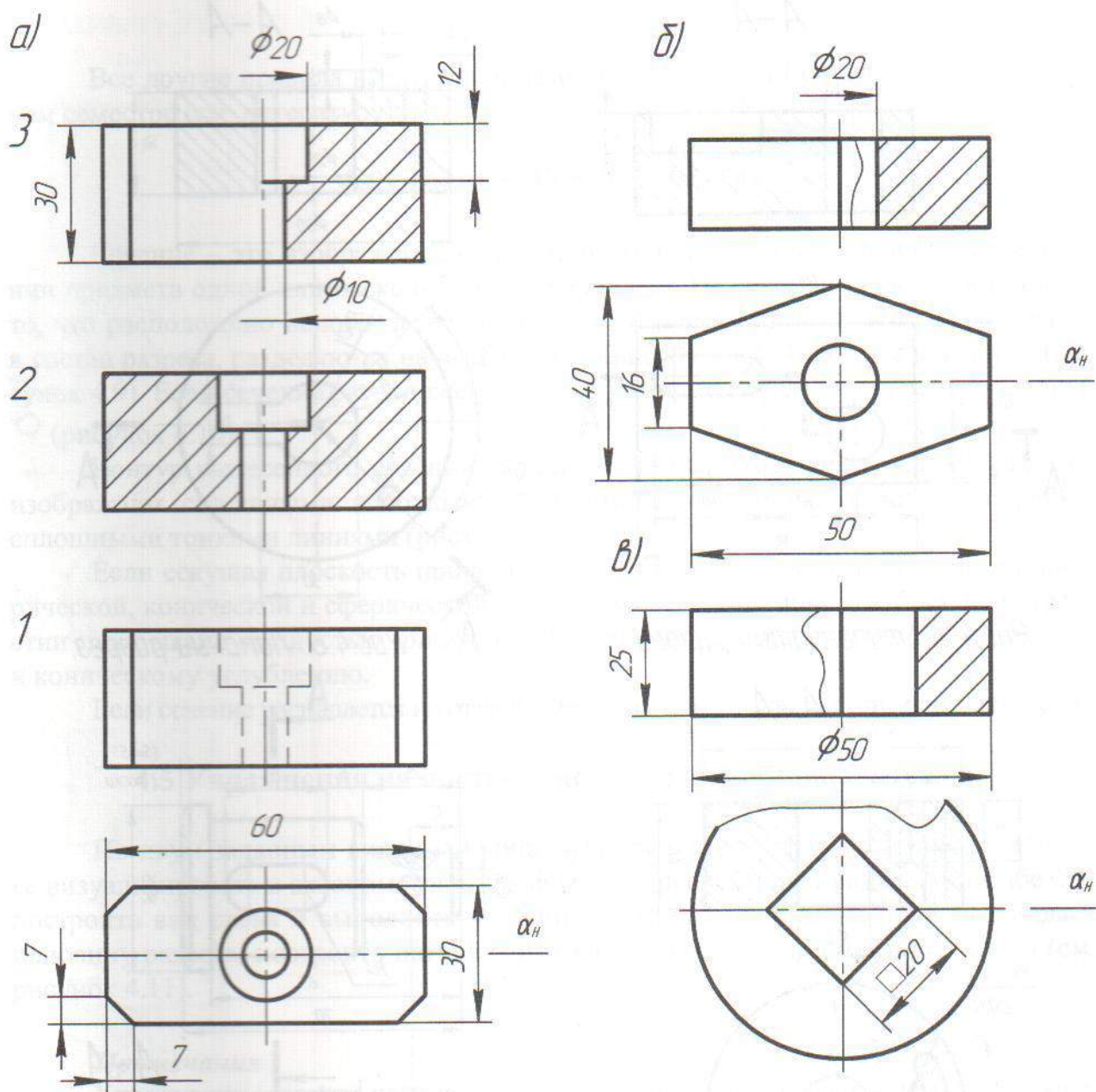


Рис.4.3. Совмещение половины вида с половиной разреза.

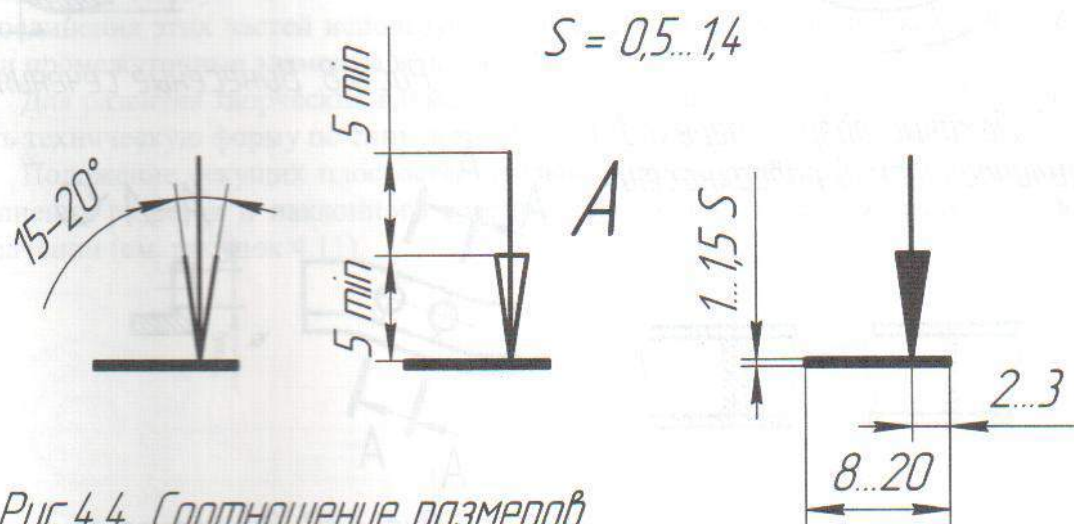


Рис.4.4. Соотношение размеров.

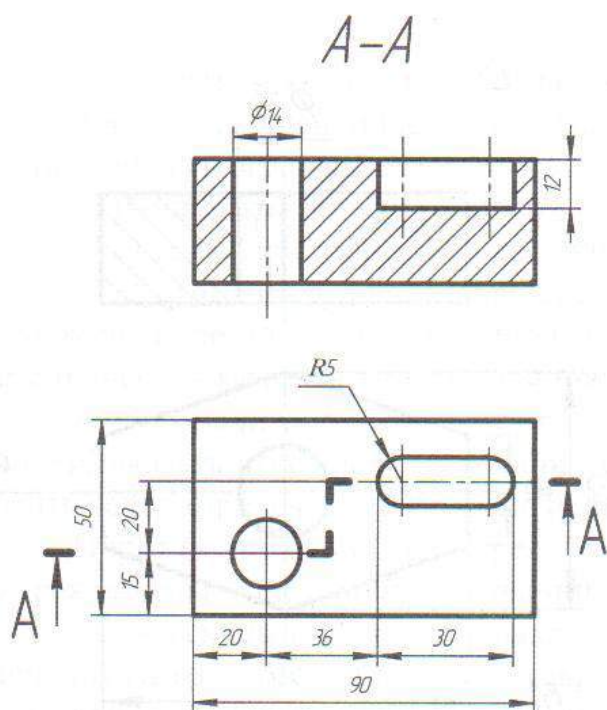


Рис. 4.5. Ступенчатый разрез.

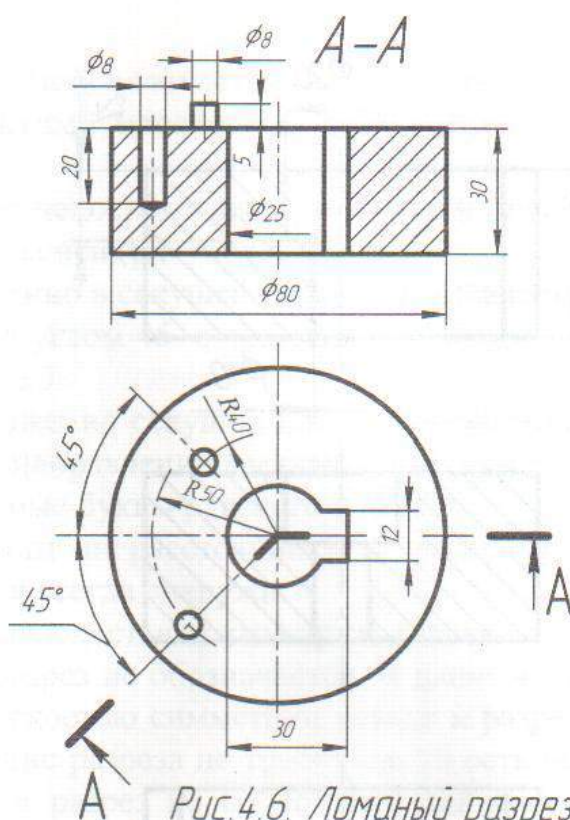


Рис. 4.6. Ломаный разрез.

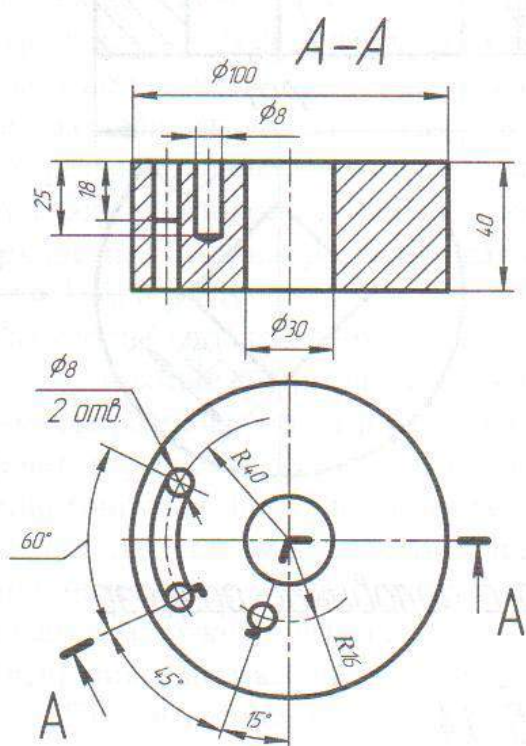


Рис. 4.7. Ломаный разрез, переход по цилиндрической поверхности.

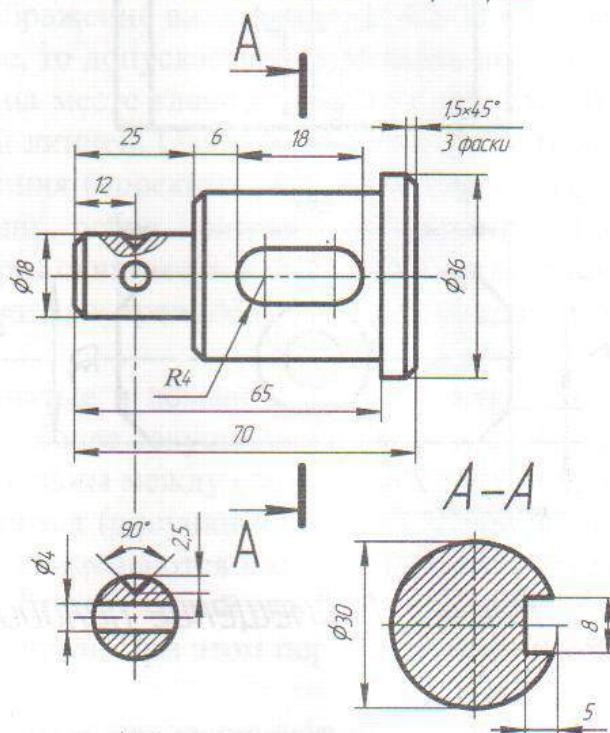


Рис. 4.8. Вынесенные сечения.

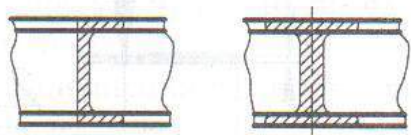


Рис. 4.9. Наложённые сечения.

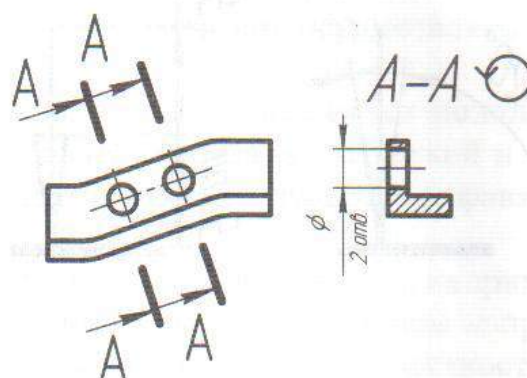


Рис. 4.10. Вынесенное сечение с поворотом.

Все другие правила выполнения разрезов и сечений будут изучаться во втором семестре (см. литературу).

4.4 Сечения (ГОСТ 2.305–68)

Сечение – это изображение фигуры, получающееся при мысленном рассечении предмета одной или несколькими плоскостями. На сечении показывают только то, что расположено непосредственно в секущей плоскости. Сечения, не входящие в состав разреза, разделяются на вынесенные (рисунки 4.8, 4.10) и наложенные (рисунок 4.9). Если сечение расположено не в проекционной связи, то используют знак  (рисунок 4.10).

Контур вынесенного сечения, а также сечения, входящего в состав разреза, изображают сплошными основными линиями, а контур наложенного сечения – сплошными тонкими линиями (рисунок 4.9).

Если секущая плоскость проходит через ось поверхности вращения (цилиндрической, конической и сферической), то контур отверстия или углубления в отверстии показывают полностью (рисунок 4.8), сечение по отверстию диаметром 4 мм и коническому углублению.

Если сечение распадается на отдельные элементы, то следует применять разрезы.

4.5 Упражнения на построение изображений на чертежах

По двум заданным видам (таблица 4.1) представить форму детали и эскизно ее визуализировать в аксонометрии, перечертить два заданных вида в масштабе 2:1, построить вид слева и выполнить указанные разрезы, совместив половину вида и половину разреза, построить натуральный вид сечения наклонной плоскостью (см. рисунок 4.11).

Примечания

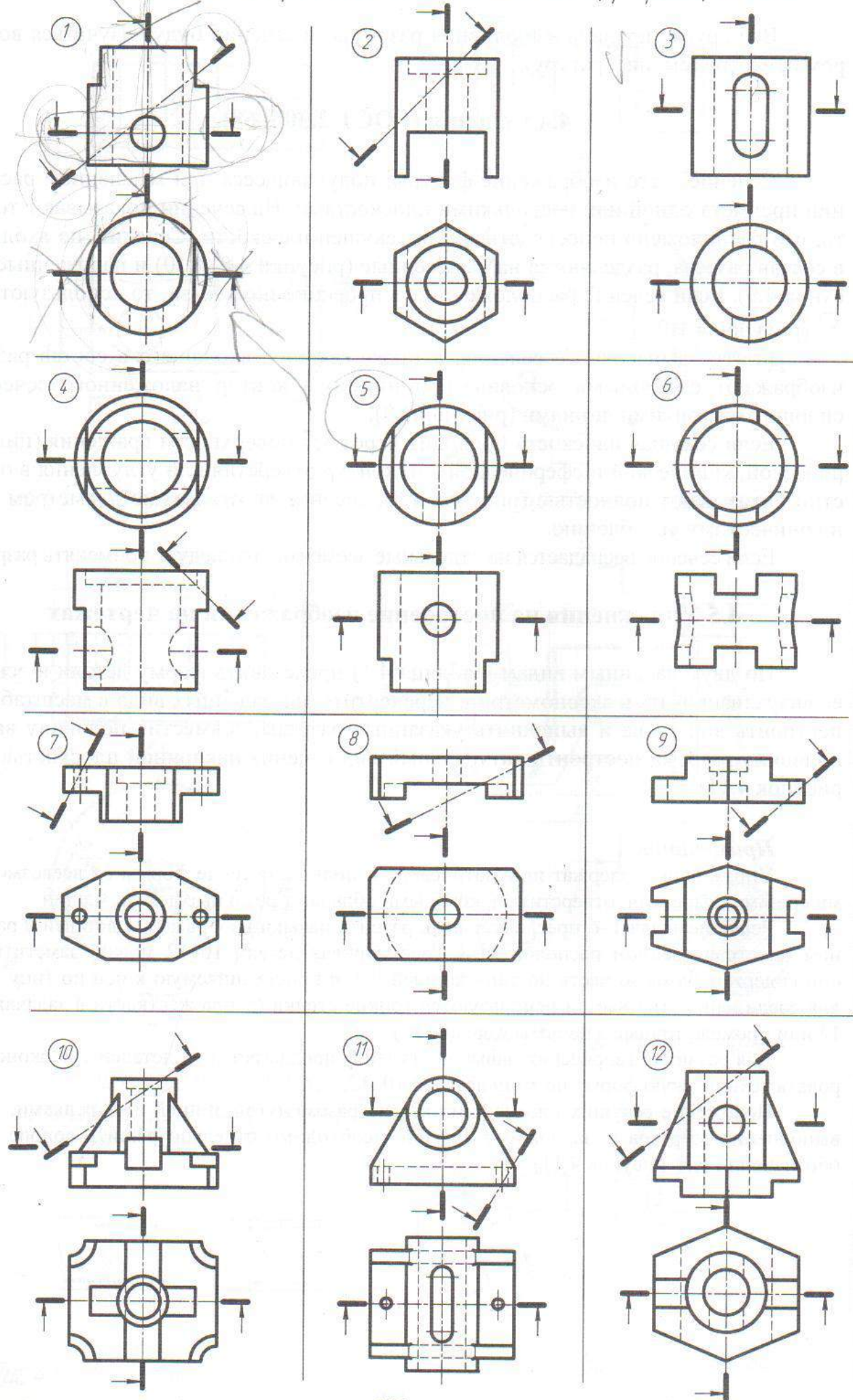
Упражнения содержат призматические и цилиндрические формы со всевозможными срезами, вырезами, отверстиями, которыми обладают реальные детали машин.

Решение задач 1–6 преследует цель развить навыки изображения деталей в различном пространственном расположении. Рассматривая детали 10–12 можно заметить, что они содержат базовую часть по типу деталей 7–9 и присоединяемую к ней по типу 1–6, а для соединения этих частей используются тонкие стенки (ребра жесткости в задачах 10 и 12 или промежуточные элементы в задаче 11).

Для развития творческих навыков студенту предлагается из деталей 1–9 сконструировать техническую форму по типу деталей 10–12.

Положение секущих плоскостей указано разомкнутой линией и стрелками. После выполнения разрезов и наклонного сечения необходимо отдельно решить вопрос об их обозначении (см. рисунок 4.11).

Таблица 4.1 – Упражнения на выполнение видов, разрезов, сечений



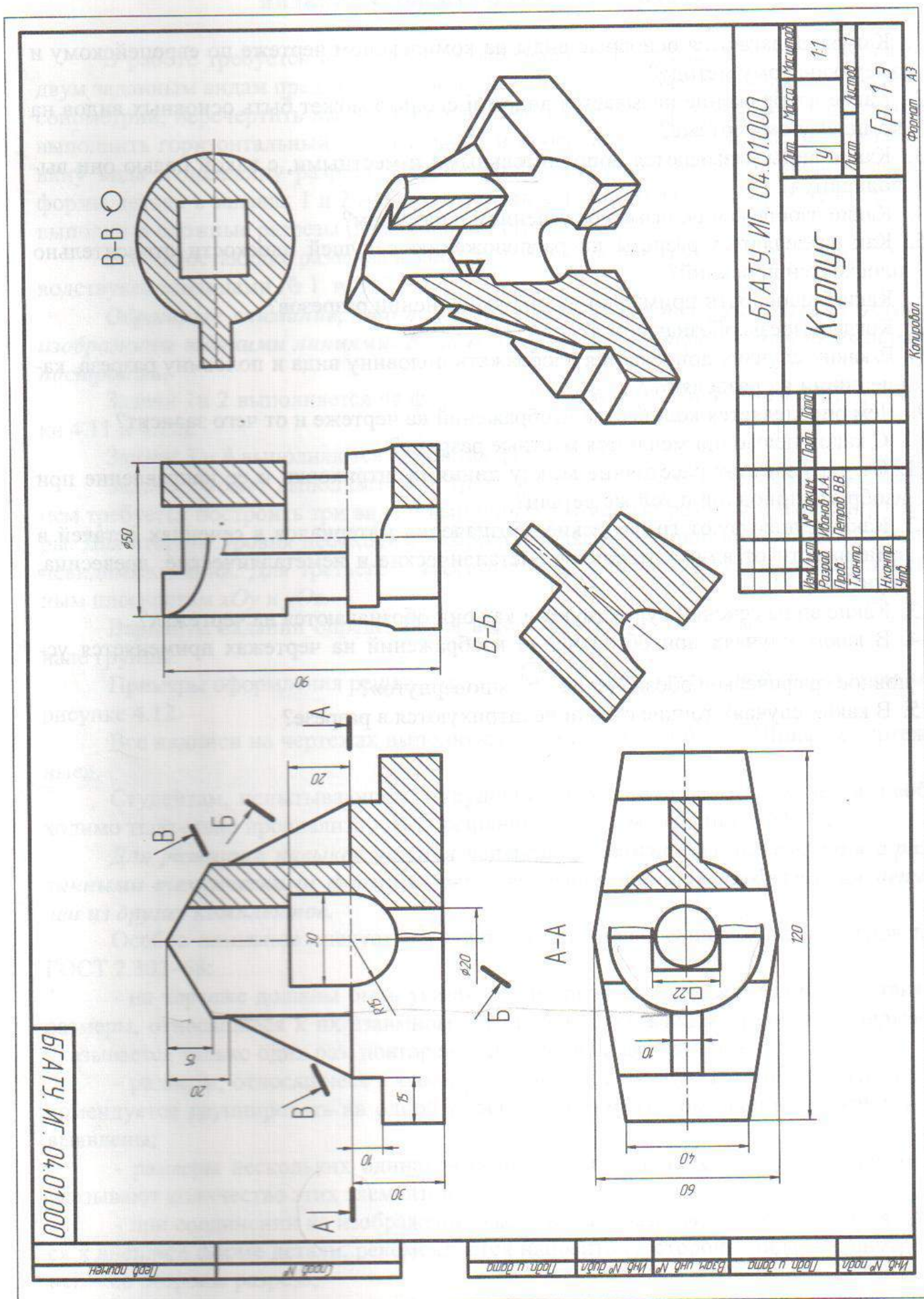


Рисунок 4.11 – Пример выполнения видов, разрезов, сечений

4.6 Контрольные вопросы

1. Как располагаются основные виды на комплексном чертеже по европейскому и американскому методу?
2. Какое изображение называется видом и сколько может быть основных видов на комплексном чертеже?
3. Какие виды называются дополнительными и местными, с какой целью они выполняются?
4. Какие изображения называют сечением и разрезом?
5. Как разделяются разрезы по расположению секущей плоскости относительно плоскостей проекций?
6. Какие условности применяются при выполнении разрезов?
7. Когда разрезы обозначаются?
8. В каких случаях допускается изображать половину вида и половину разреза, какие линии их разделяют?
9. Чем определяется количество изображений на чертеже и от чего зависит?
10. С какой целью применяются местные разрезы?
11. От чего зависит расстояние между линиями штриховки и ее направление при изображении одной и той же детали?
12. Какие существуют графические обозначения материалов в сечениях деталей в зависимости от вида материалов (металлические и неметаллические, древесина, грунт и др.)?
13. Какие виды сечений существуют и как они обозначаются на чертежах?
14. В каких случаях при обозначении изображений на чертежах применяется условное графическое обозначение  «повернуто»?
15. В каких случаях тонкие стенки не штрихуются в разрезе?

4.7 Методические указания по выполнению индивидуальных графических работ

В работе требуется выполнить четыре задачи. В задачах 1 и 2 требуется по двум заданным видам представить форму детали и эскизно ее визуализировать в аксонометрии, перечертить два заданных вида в масштабе 2:1, построить вид слева и выполнить горизонтальный, фронтальный и профильный разрезы, совместив половину вида и половину разреза. Правильность пространственного представления формы детали в задачах 1 и 2 можно уточнить в п. 4.9. В задачах 3 и 4 необходимо выполнить сложные разрезы (ломанный и ступенчатый).

Все недостающие размеры в задачах 1, 3 и 4 назначить самостоятельно, руководствуясь таблицами № 1 и № 2.

Обратите внимание, что в местах пересечения поверхностей их очерки изображены тонкими линиями. В этих местах линии пересечения необходимо построить.

Задачи 1 и 2 выполняются на формате А3 белой чертежной бумаги (см. рисунки 4.11 и 4.12).

Задачи 3 и 4 выполняются на листах формата А4.

Задача 3 может выполняться на трех уровнях. В соответствии с первым уровнем требуется построить три вида и выполнить указанные разрезы и нанести размеры. Для второго уровня необходимо выполнить аксонометрию детали без указания невидимых линий. Для третьего – аксонометрию детали с вырезом по координатным плоскостям xOy и yOz .

Варианты заданий определяются в соответствии с номером студента в журнале группы.

Примеры оформления решенных задач и заполнение основной надписи см. на рисунке 4.12.

Все надписи на чертежах выполняются по ГОСТ 2.304–81 «Шрифты чертежные».

Студентам, испытывающим затруднения в решении задач комплекта, необходимо тщательно проанализировать решение задач (см. рисунки 4.11–4.13).

Для развития навыков чтения чертежей деталей и ознакомления с различными техническими формами рекомендуется читать изображения деталей из других комплектов.

Особое внимание следует обратить на правильное нанесение размеров по ГОСТ 2.307–68:

- на чертеже должны быть указаны размеры всех элементов детали, а также размеры, относящиеся к их взаимному расположению; каждый размер на чертеже указывается только один раз, повторение размеров не допускается;
- размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу, рекомендуется группировать на одной проекции и там, где они наиболее отчетливо выявлены;
- размеры нескольких одинаковых элементов наносятся один раз, при этом указывают количество этих элементов;
- при соединении на изображении части вида и разреза, размеры, относящиеся к внешней форме детали, рекомендуется наносить со стороны вида, а к внутренней – со стороны разреза;
- размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения;

Таблица 1 – Нормальные линейные размеры (ГОСТ 6636–69)

<u>1,0</u>	1,05	<u>1,1</u>	1,15	<u><u>1,2</u></u>	1,3	<u>1,4</u>	1,5
<u>1,6</u>	1,7	<u>1,8</u>	1,9	<u><u>2,0</u></u>	2,1	<u>2,2</u>	2,4
<u>2,5</u>	2,6	<u>2,8</u>	3,0	<u><u>3,2</u></u>	3,4	<u>3,6</u>	3,8
<u>4,0</u>	4,2	<u>4,5</u>	4,8	<u><u>5,0</u></u>	5,3	<u>5,6</u>	6,0
<u>6,3</u>	6,7	<u>7,1</u>	7,5	<u><u>8,0</u></u>	8,5	<u>9,0</u>	9,5
<u>10</u>	10,5	<u>11</u>	11,5	<u><u>12</u></u>	13	<u>14</u>	15
<u>16</u>	17	<u>18</u>	19	<u><u>20</u></u>	21	<u>22</u>	24
<u>25</u>	26	<u>28</u>	30	<u><u>32</u></u>	34	<u>36</u>	38
<u>40</u>	42	<u>45</u>	48	<u><u>50</u></u>	53	<u>56</u>	60
<u>63</u>	67	<u>71</u>	75	<u><u>80</u></u>	85	<u>90</u>	95
<u>100</u>	105	<u>110</u>	120	<u><u>125</u></u>	130	<u>140</u>	150

Примечание. При выборе размеров предпочтение следует отдавать числам, заключенным в прямоугольники, затем подчеркнутым двумя линиями, потом одной линией и, наконец, не подчеркнутым

Таблица 2–Радиусы скруглений (ГОСТ 10948–64)

I-й ряд	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
II-й ряд	1,2	2	3	5	8	12	20	32	50	80	125

Примечание. При выборе радиусов скруглений I-й ряд предпочитается II-му.

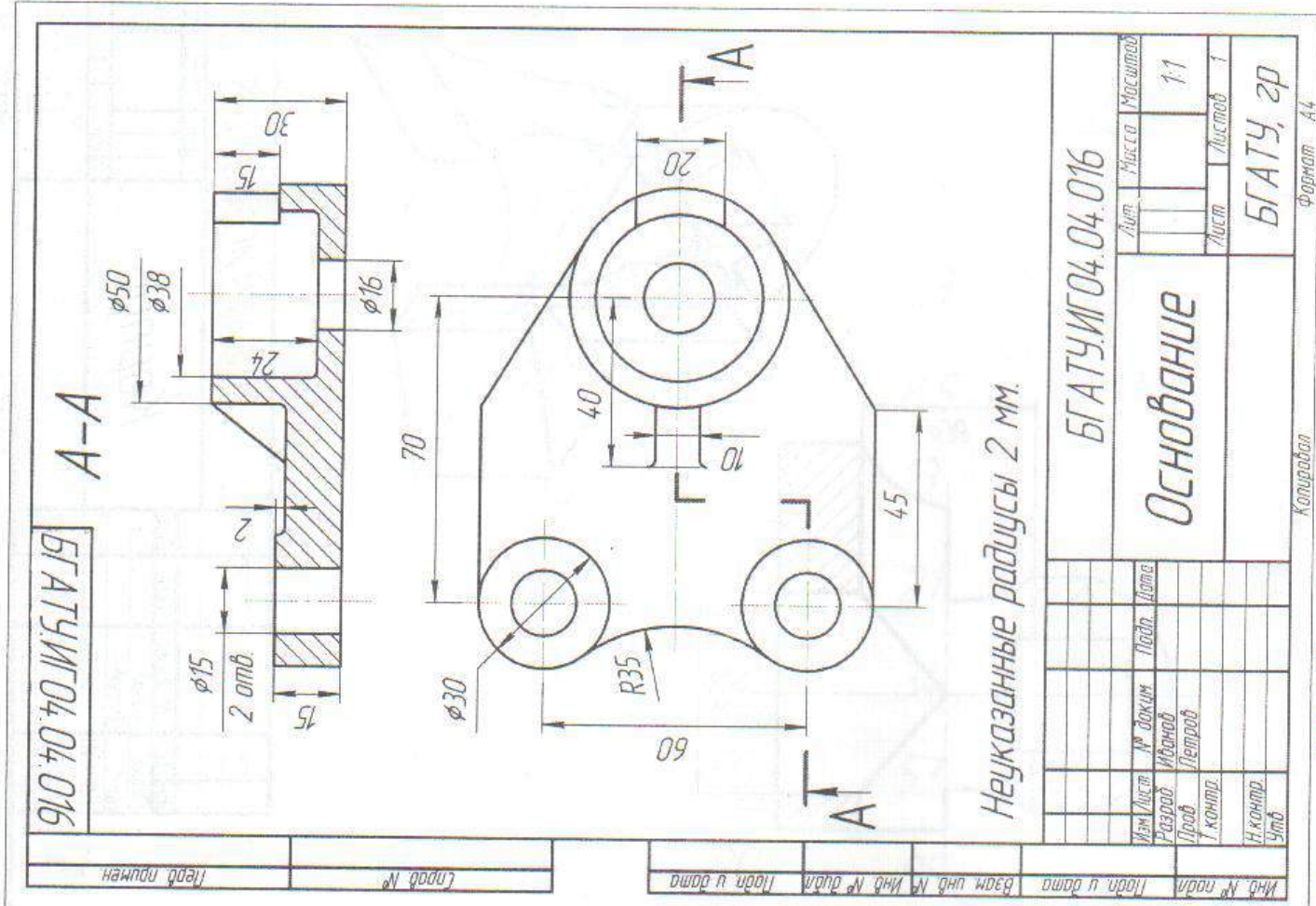
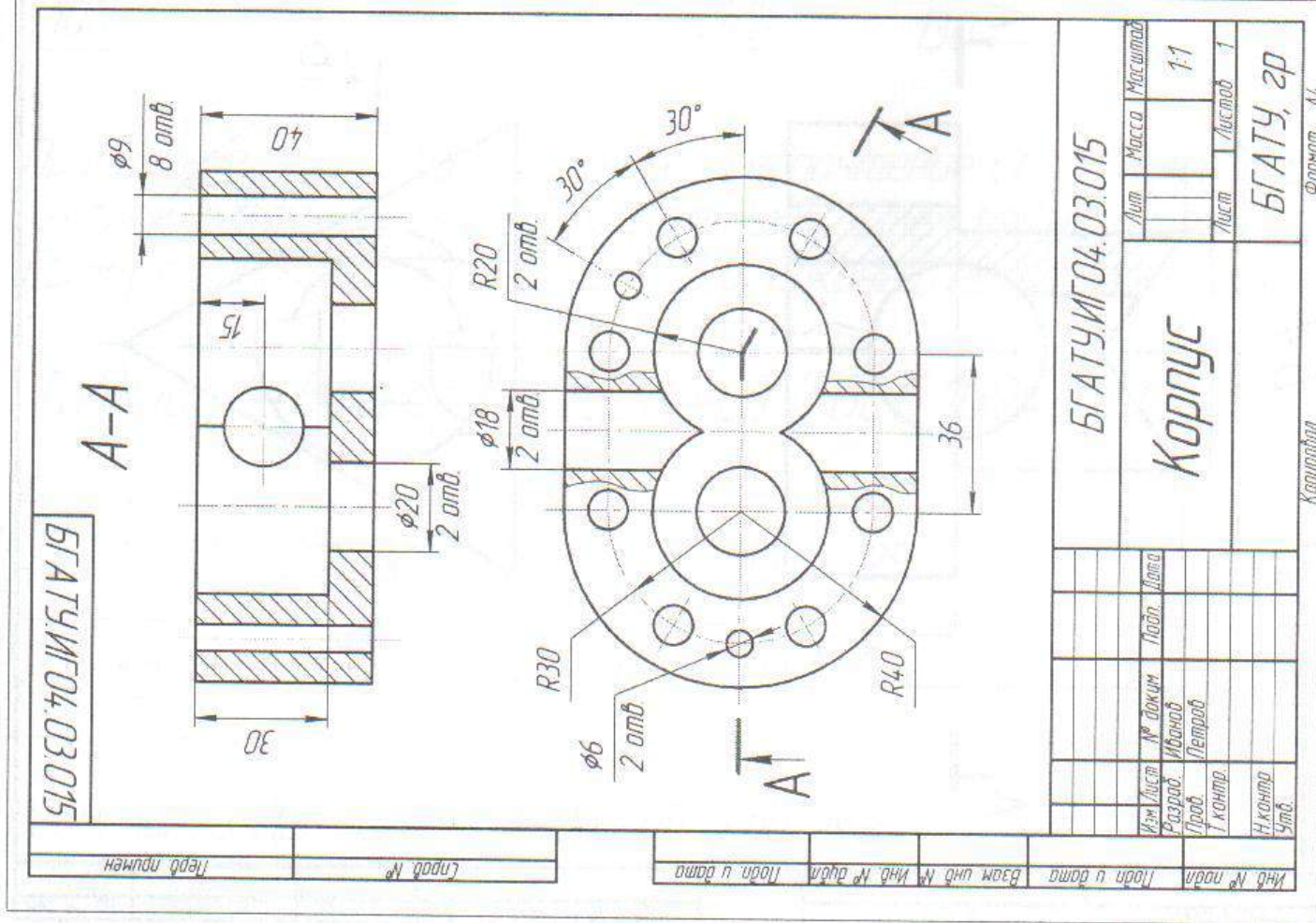


Рисунок 4.13 – Примеры выполнения ИГР (Задача 3, 4)

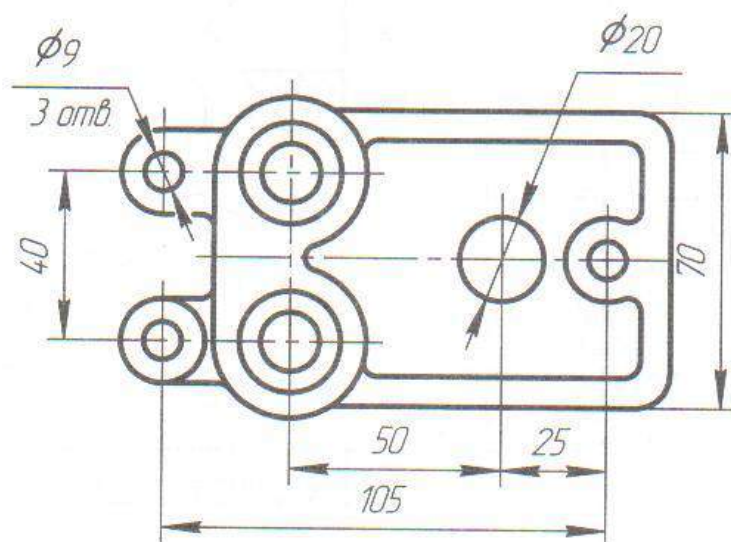
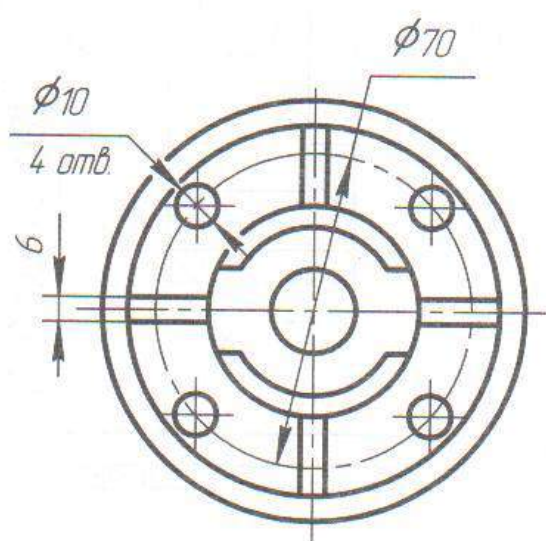
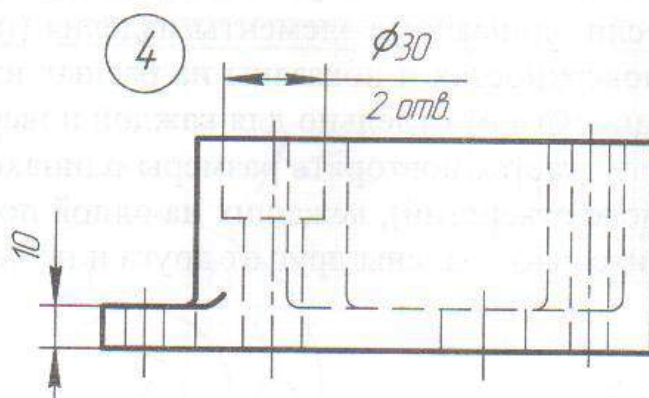
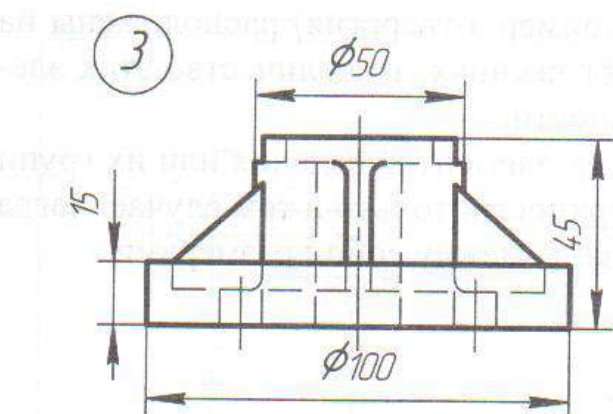
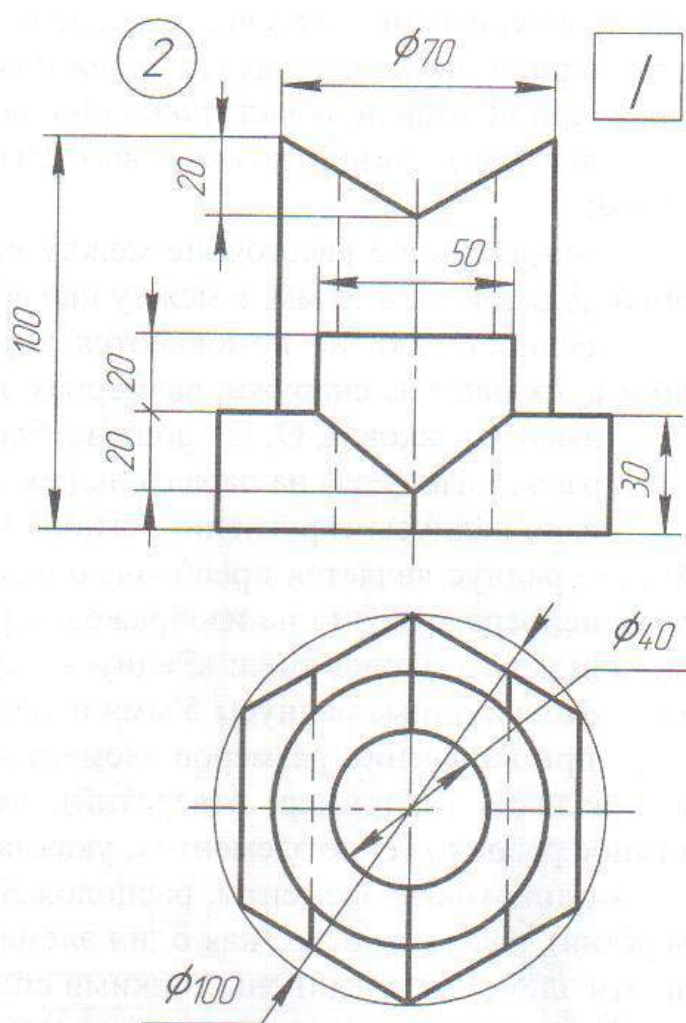
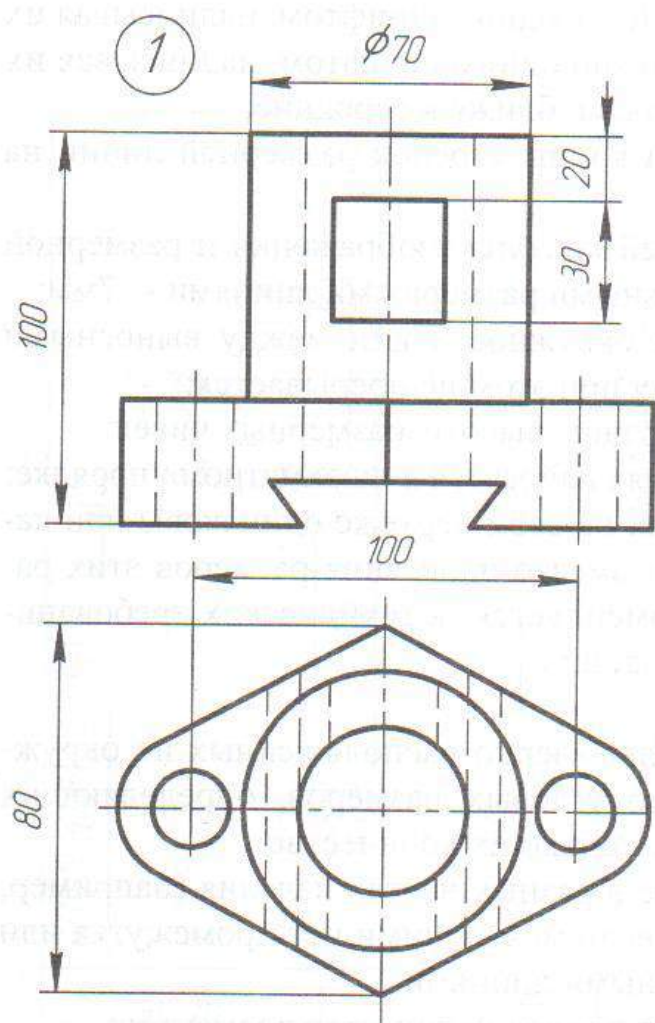
- минимальная длина стрелки размерной линии должна быть 2,5 мм;
- размерные числа на чертеже следует писать одним шрифтом, надписывая их над размерной линией, параллельно ей и возможно одним шрифтом, надписывая их над размерной линией, параллельно ей и возможно ближе к середине;
- выносные линии должны выходить за концы стрелок размерной линии на 1...5 мм;
- минимальное расстояние между линией контура изображения и размерной линией должно быть 10 мм, а между параллельными размерными линиями – 7мм;
- если стрелки не помещаются внутри окружности или между выносными линиями, их наносят снаружи; размерная линия при этом не прерывается;
- высота знаков R, Ø, □ должна быть равна высоте размерных чисел;
- размерные числа на параллельных линиях наносятся в «шахматном» порядке;
- если радиусы скруглений, сгибов и т. п. на всем чертеже одинаковы или какой-либо радиус является преобладающим, то вместо нанесения размеров этих радиусов непосредственно на изображение рекомендуется в технических требованиях детали делать запись типа: «Радиусы скруглений 3 мм»; «Неуказанные радиусы 5 мм» и т. п.
- при нанесении размеров элементов, равномерно расположенных по окружности изделия (например, отверстий), вместо угловых размеров, определяющих взаимное расположение элементов, указывают только их количество;
- одинаковые элементы, расположенные в разных частях изделия (например, отверстия), рассматривают как один элемент, если между ними нет промежутка или если эти элементы соединены тонкими сплошными линиями.

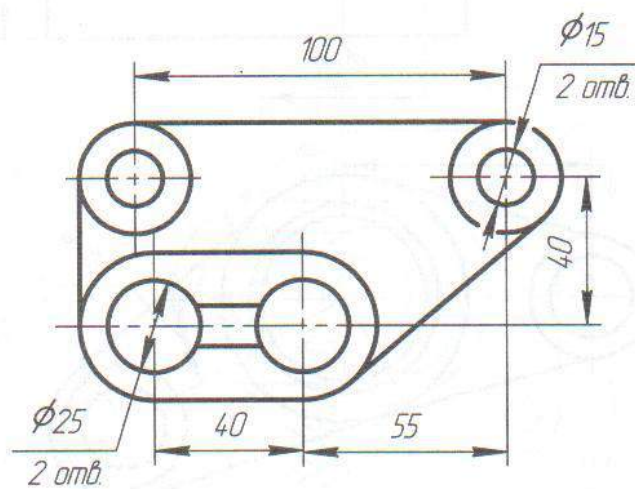
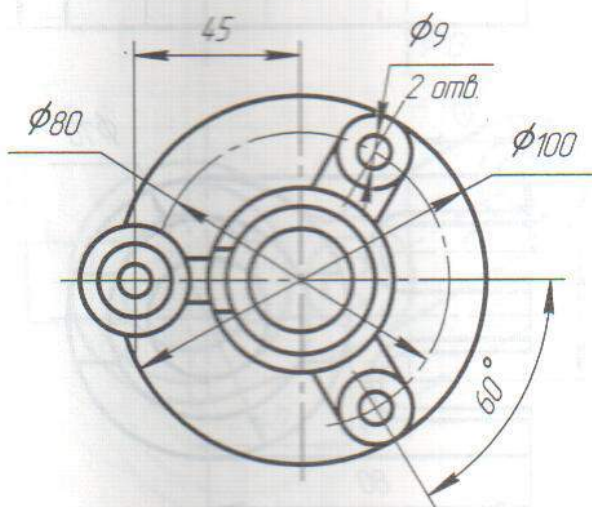
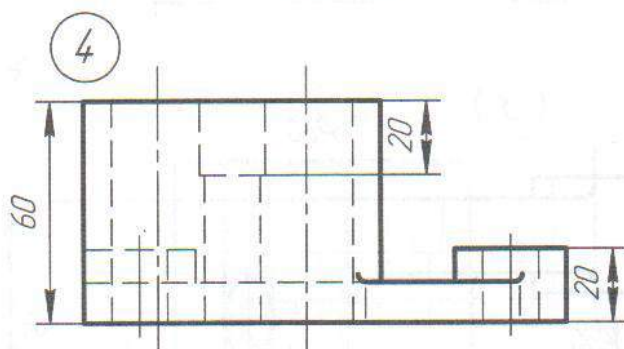
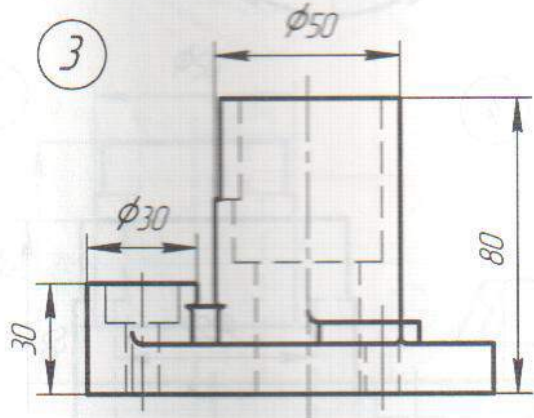
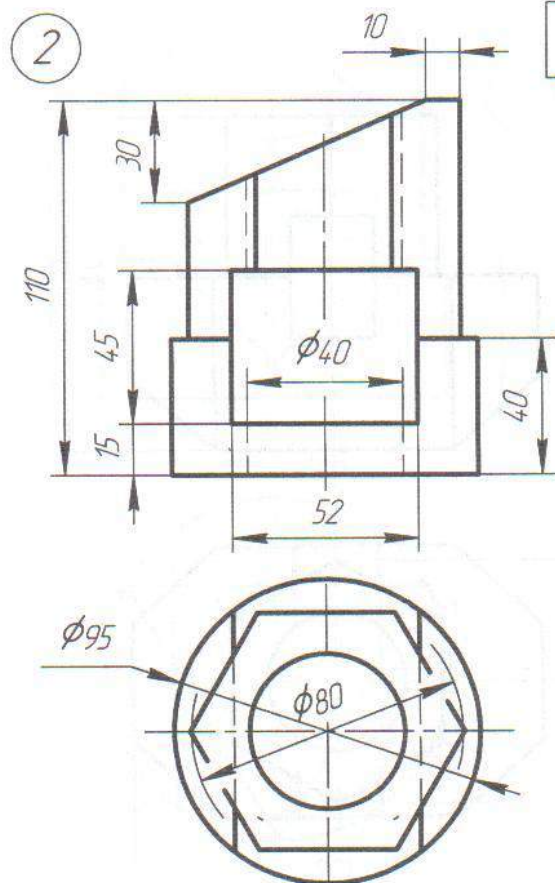
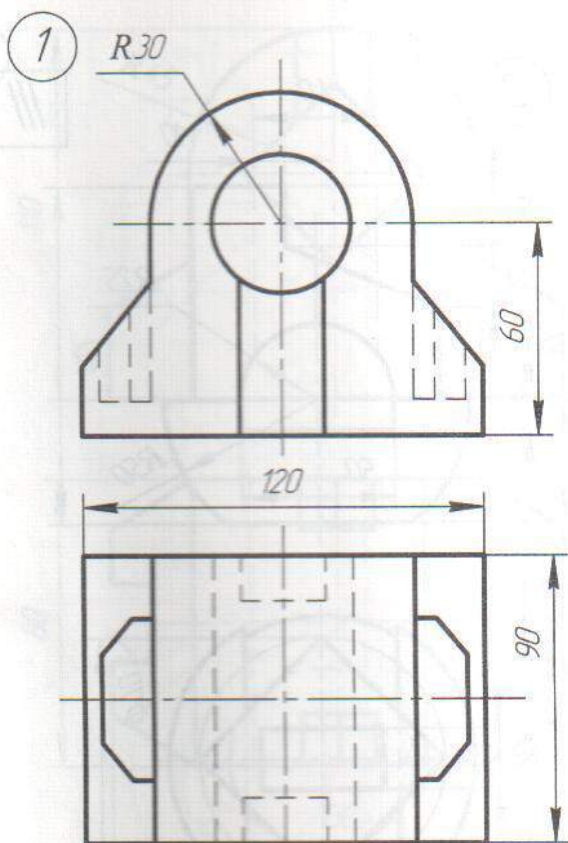
При отсутствии этих условий указывают полное количество элементов:

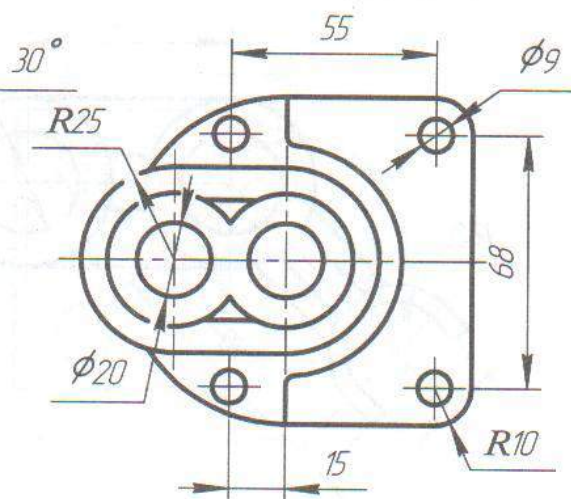
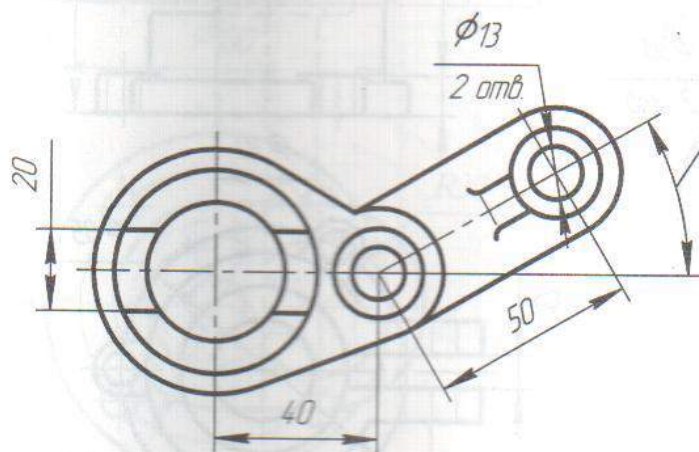
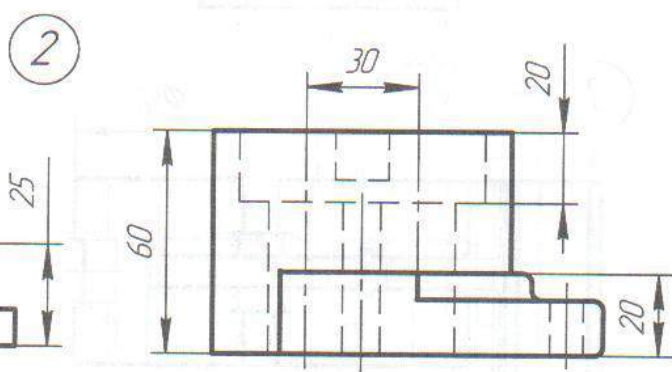
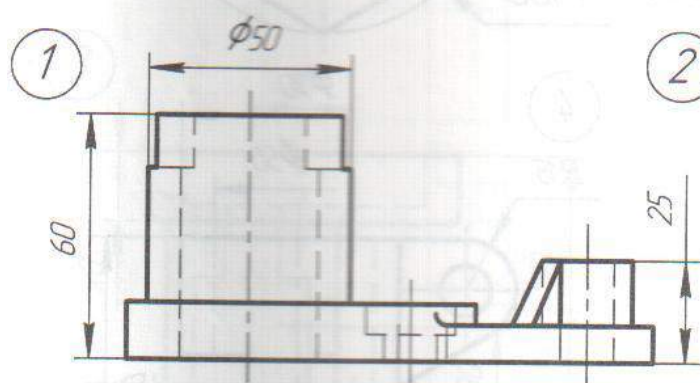
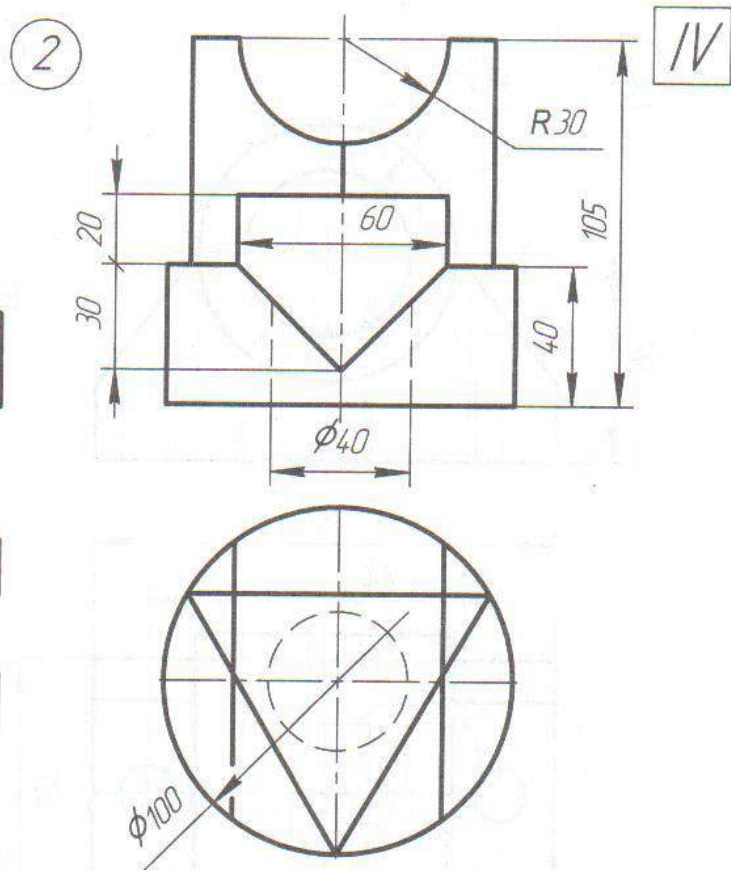
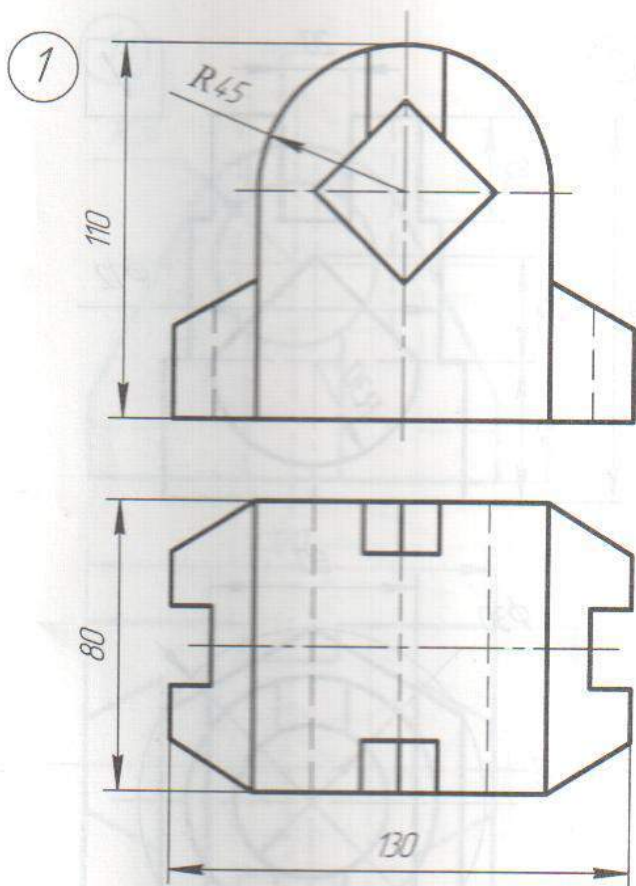
- если одинаковые элементы изделия (например, отверстия) расположены на разных поверхностях и показаны на разных изображениях, то количество этих элементов записывают отдельно для каждой поверхности.

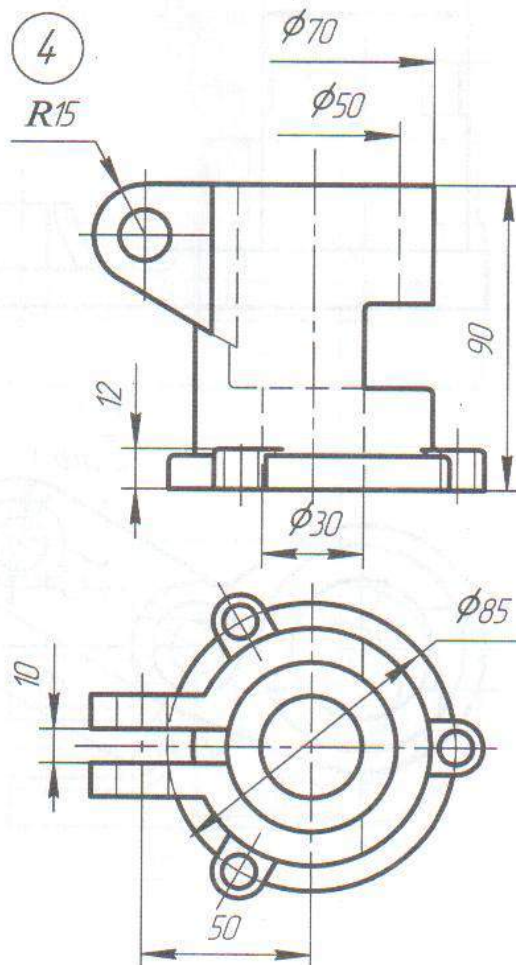
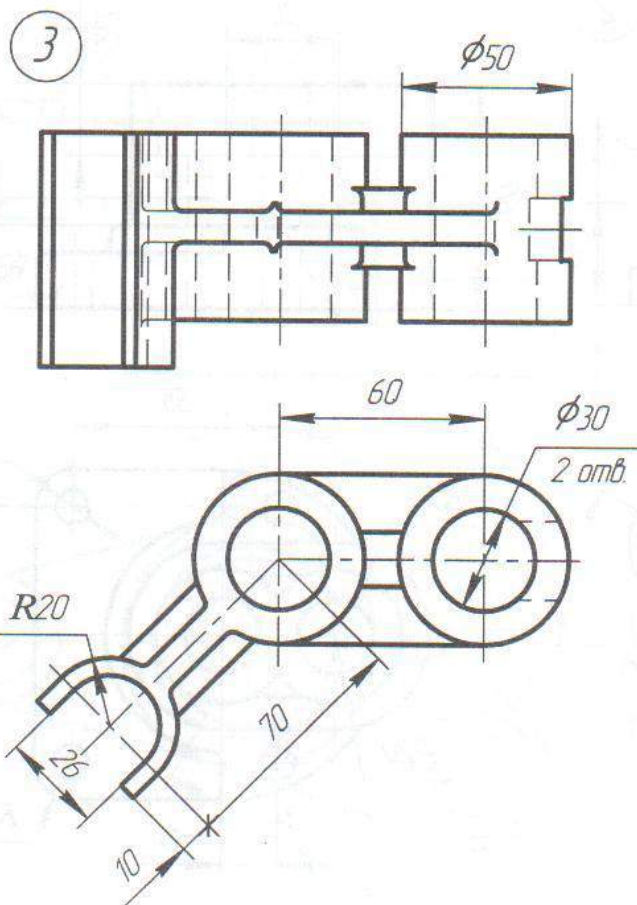
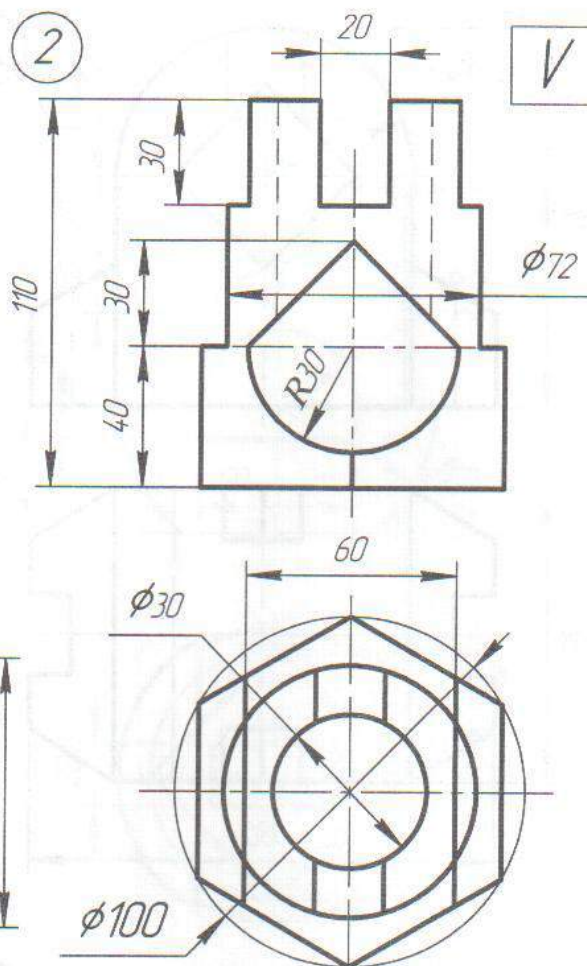
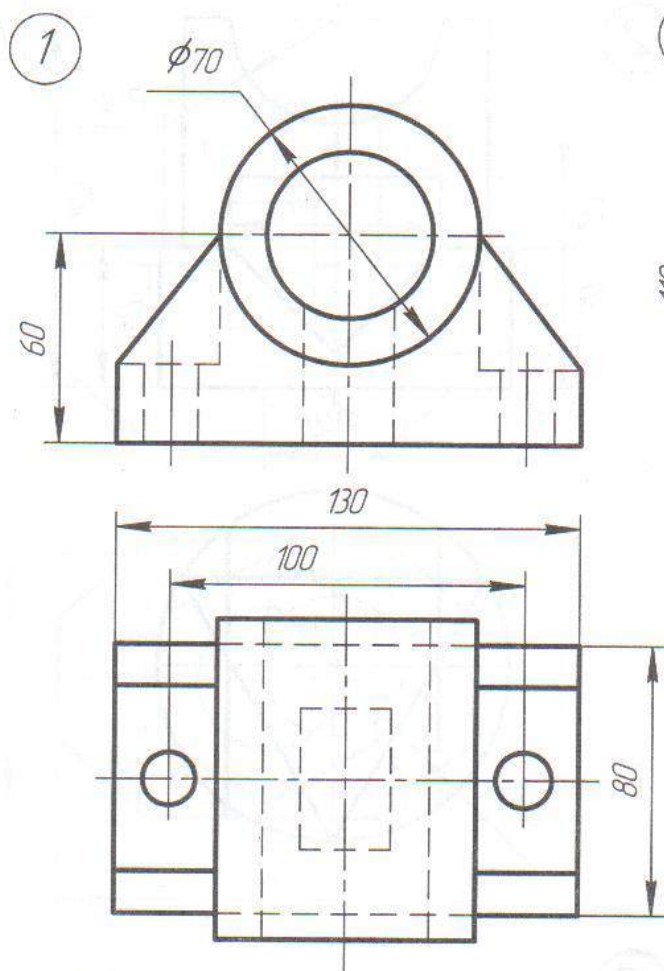
Допускается повторять размеры одинаковых элементов изделия или их групп (в том числе отверстий), лежащих на одной поверхности, только в том случае, когда они значительно удалены друг от друга и не увязаны между собой размерами.

4.8. Варианты условий индивидуальных графических работ

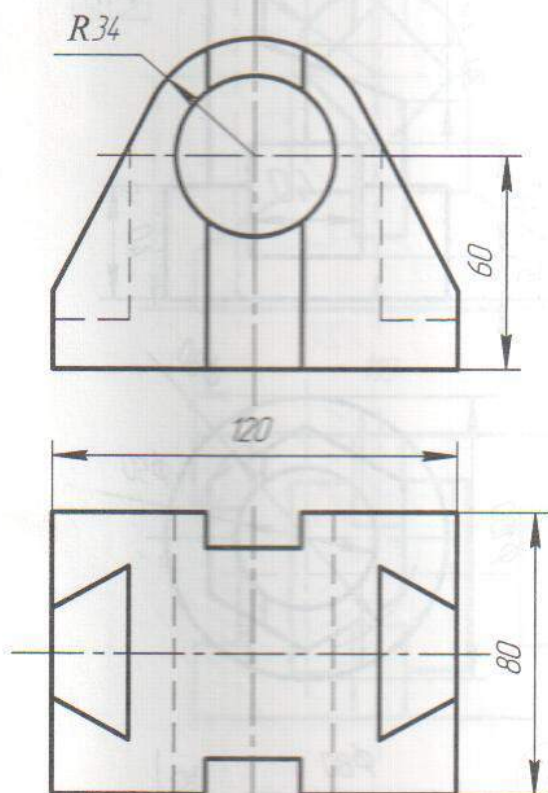




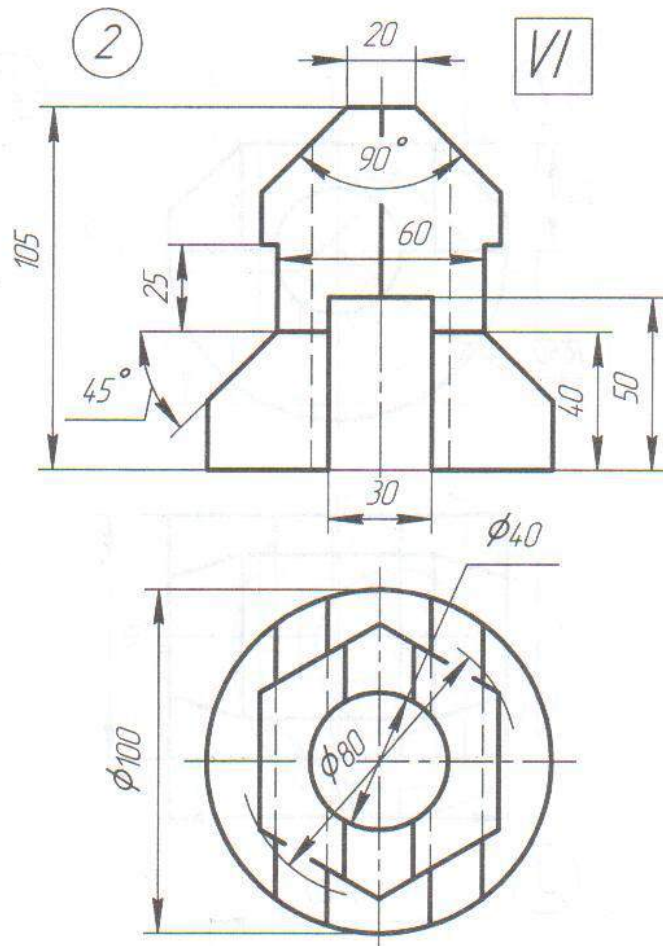




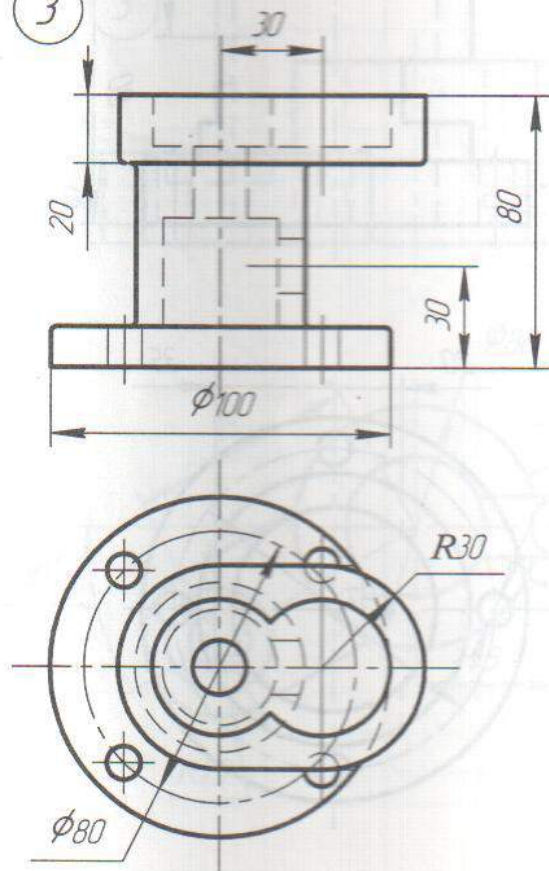
1



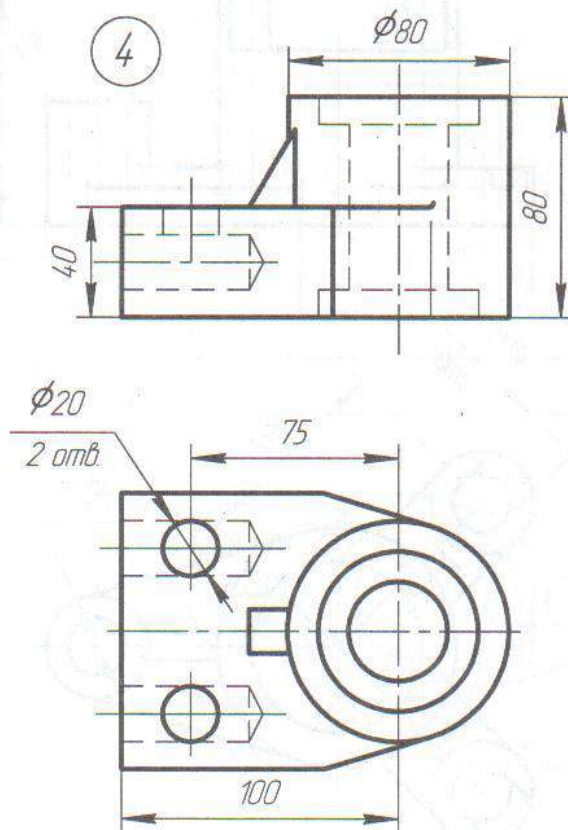
2

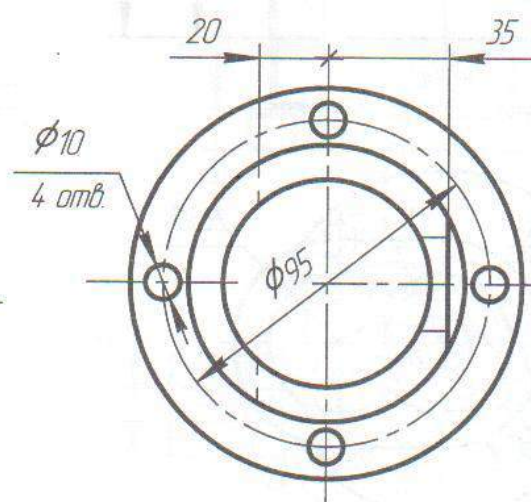
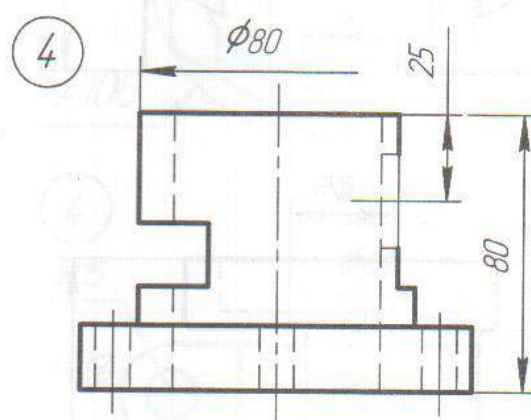
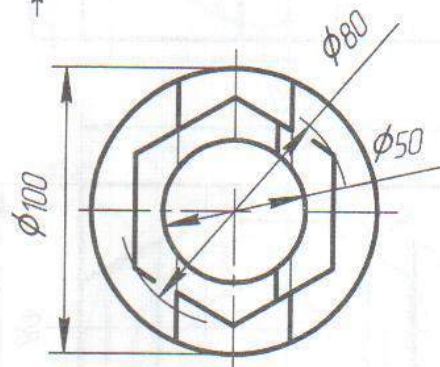
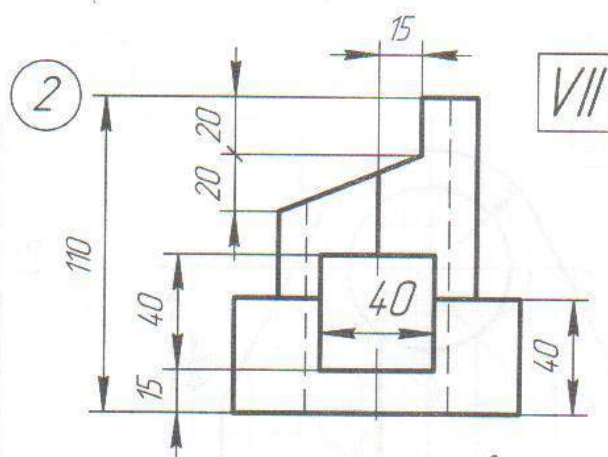
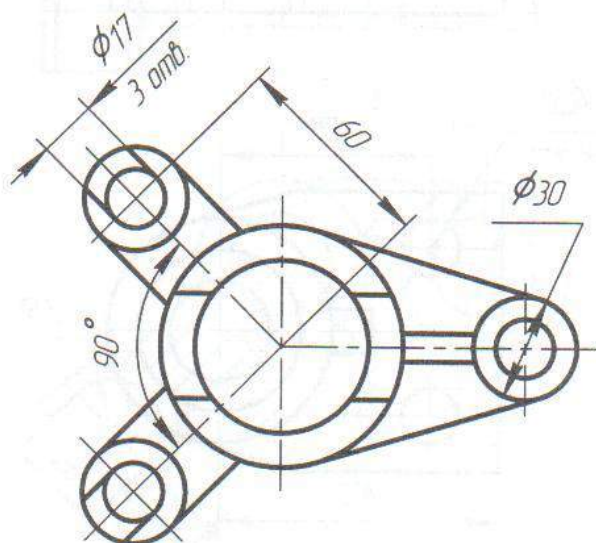
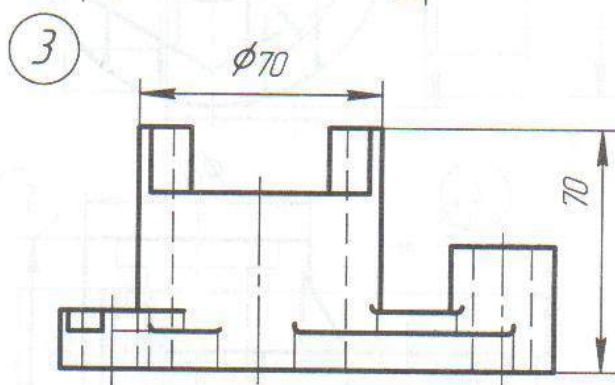
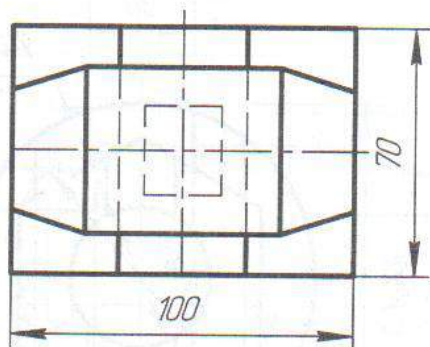
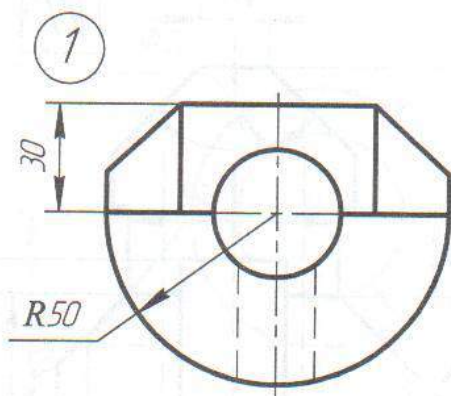


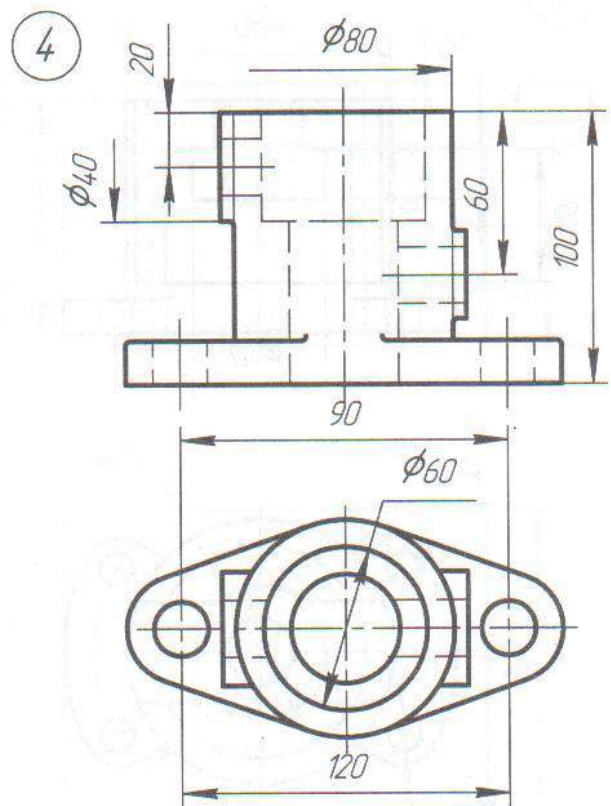
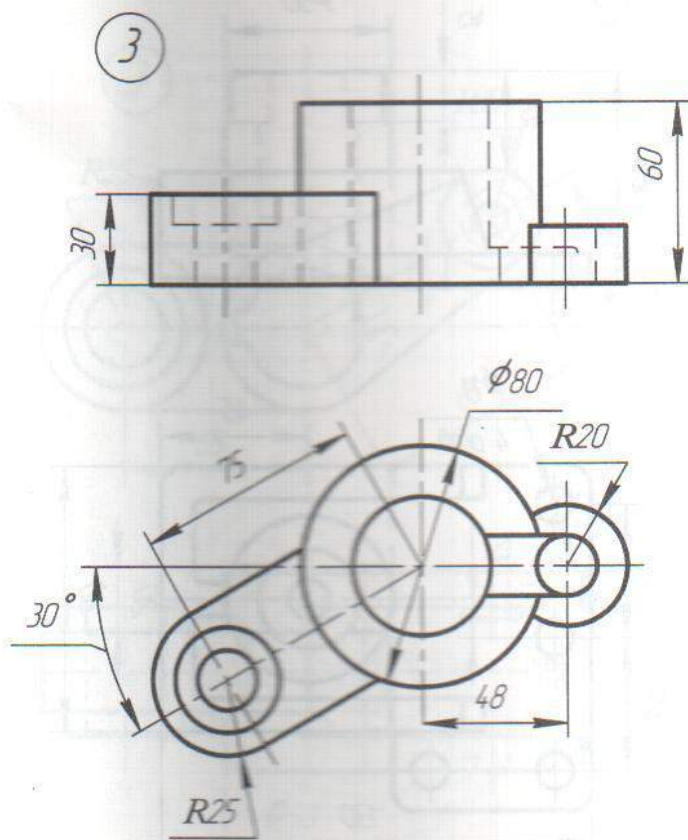
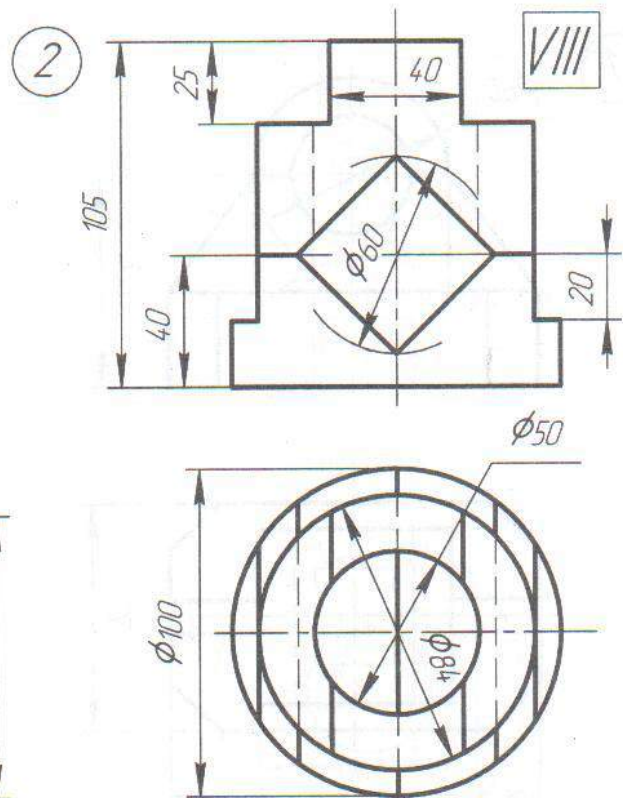
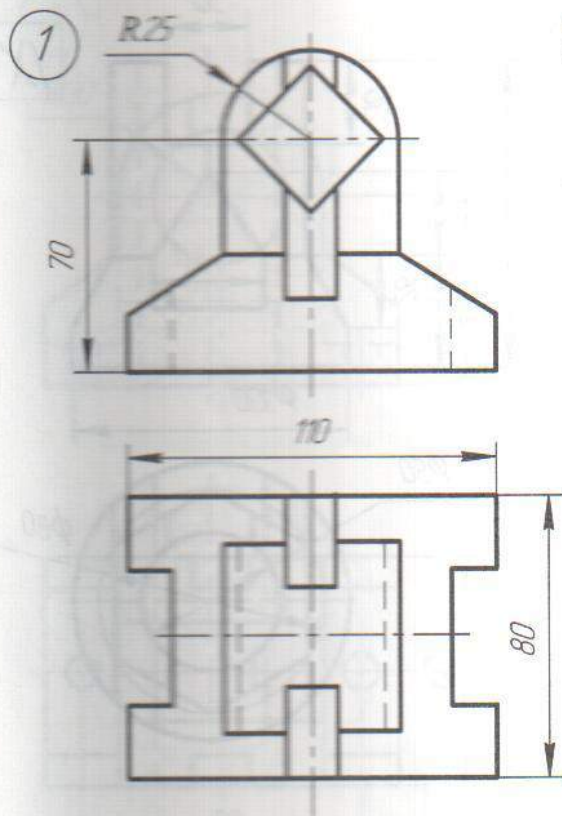
3

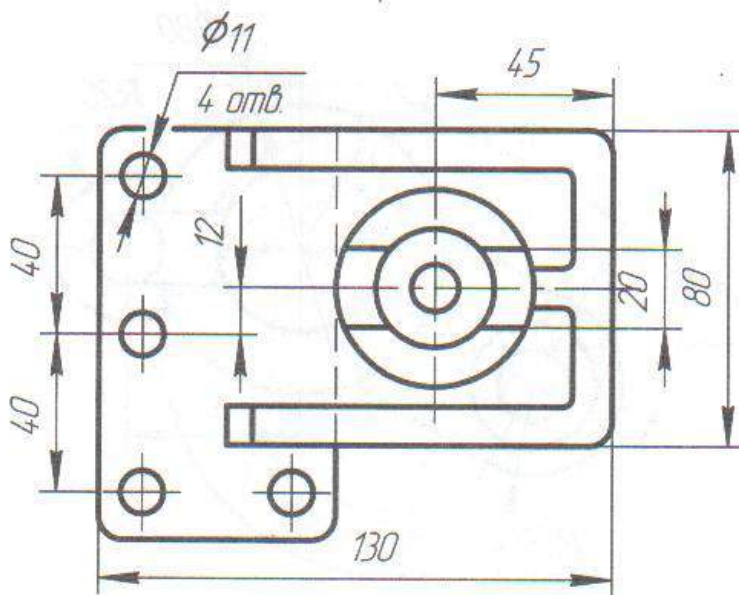
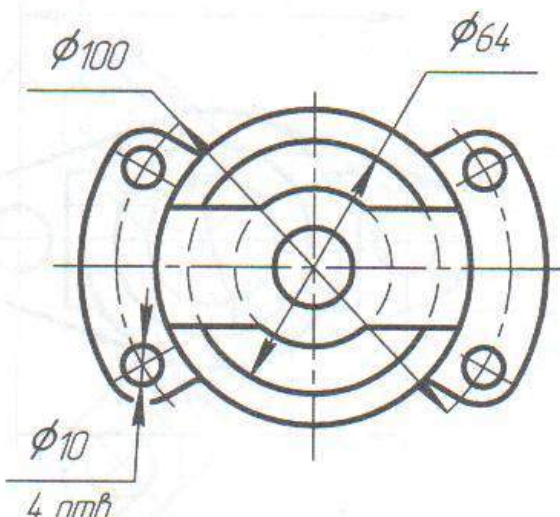
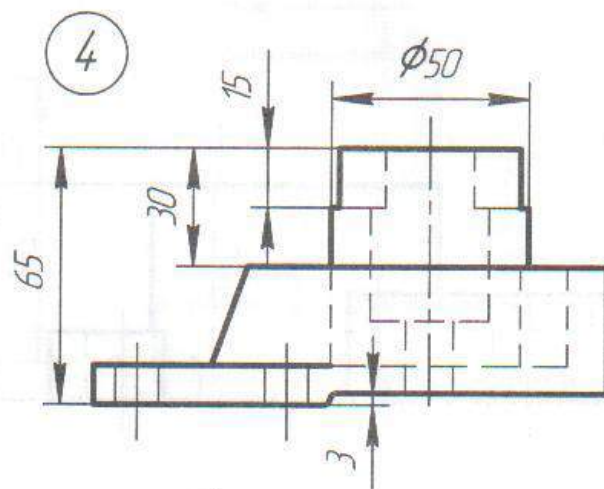
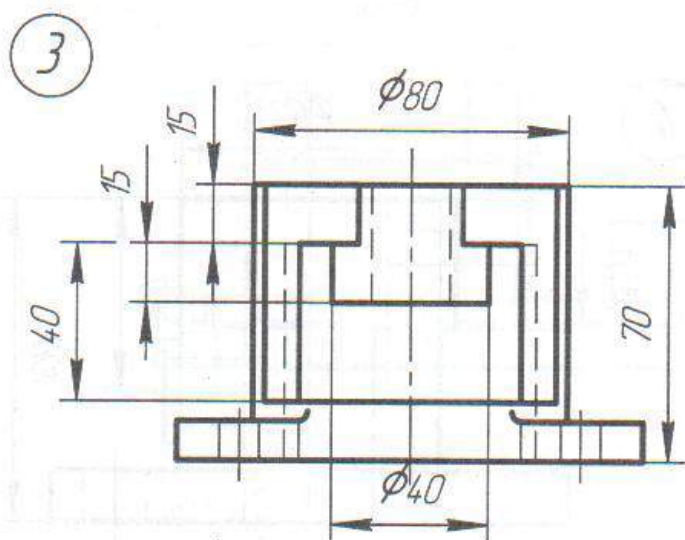
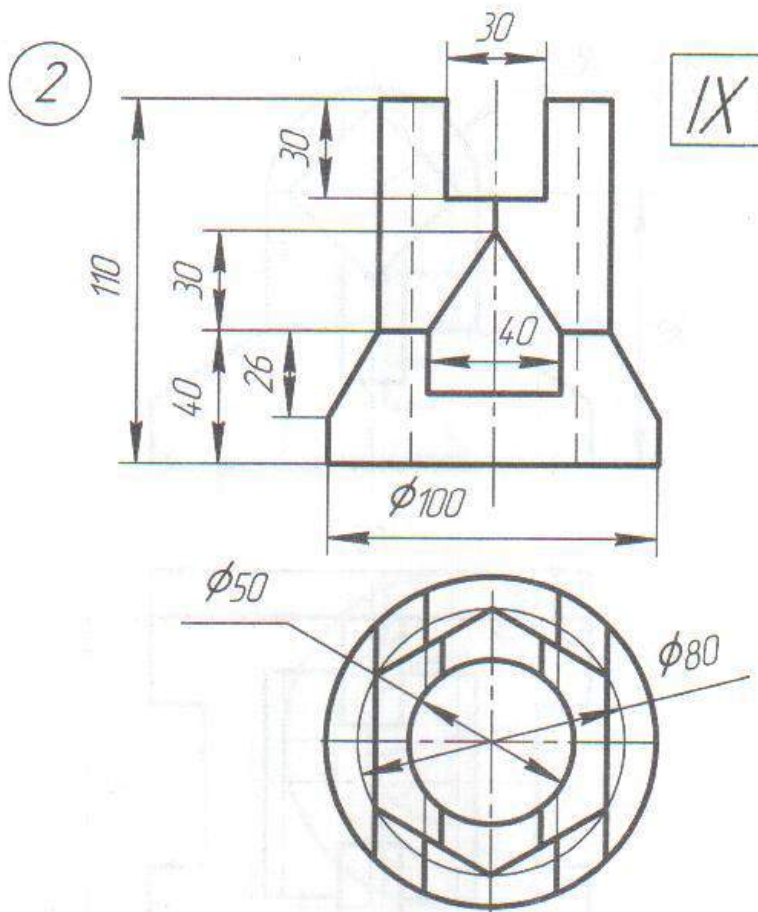
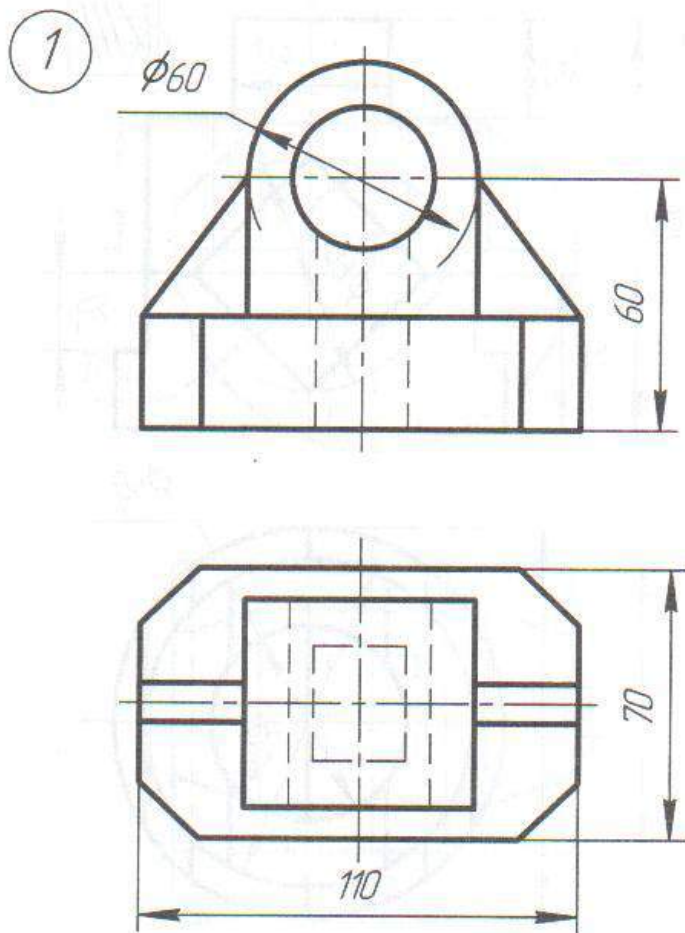


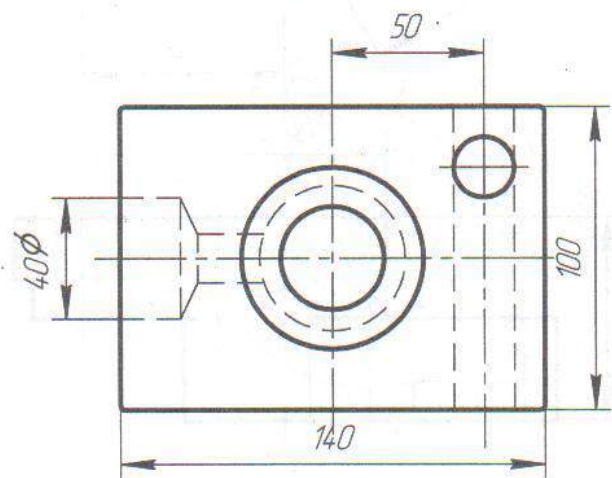
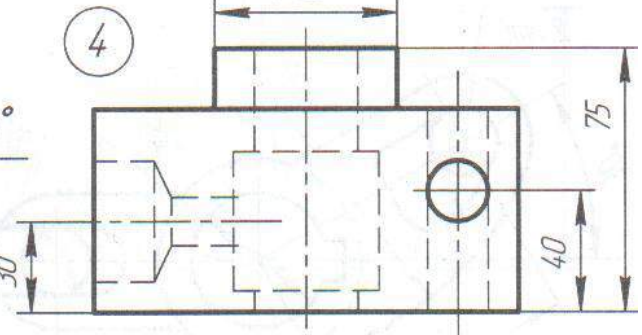
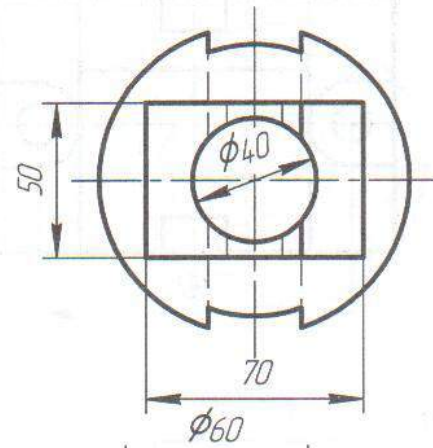
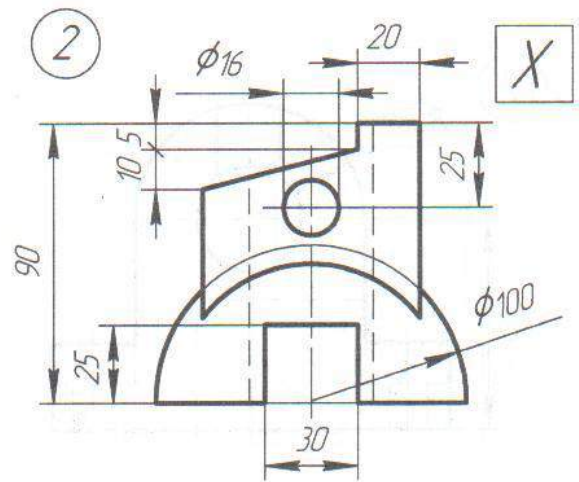
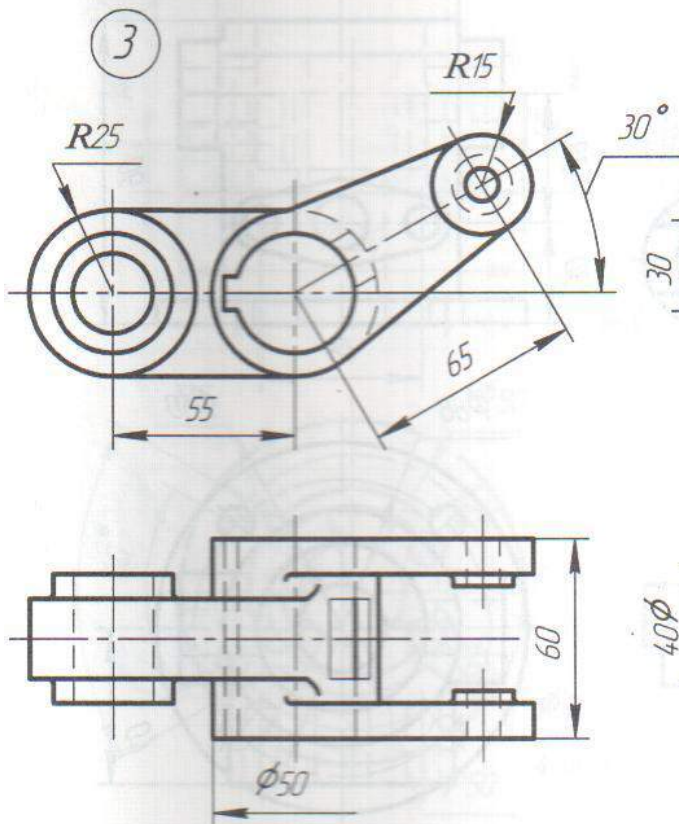
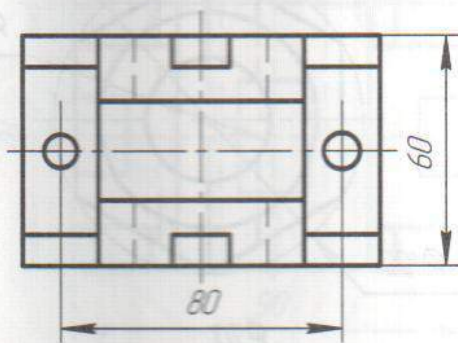
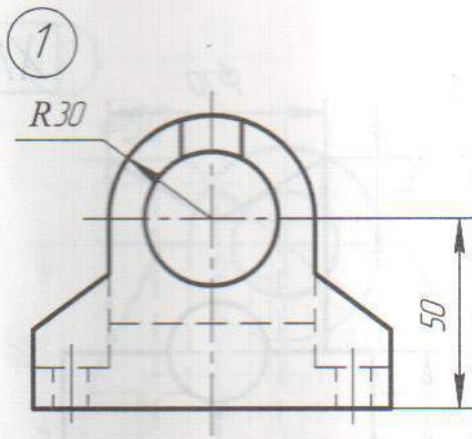
4

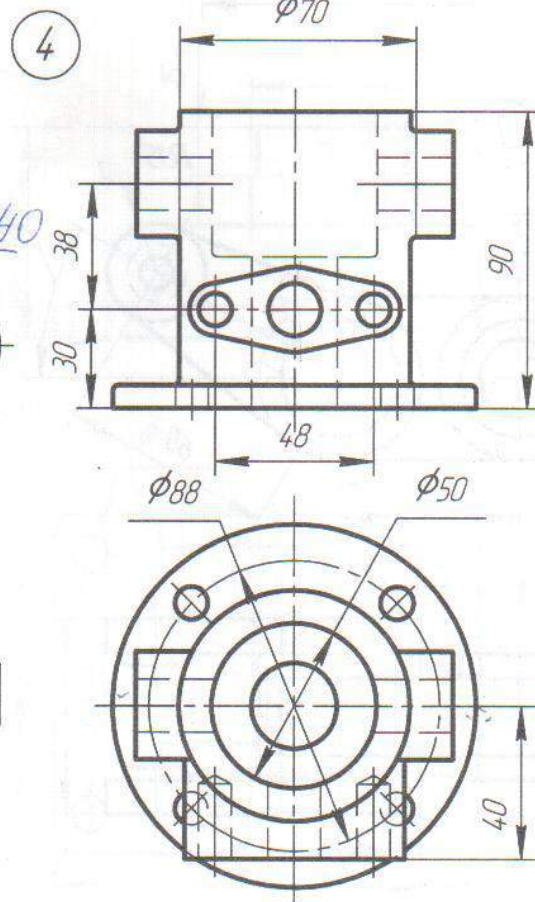
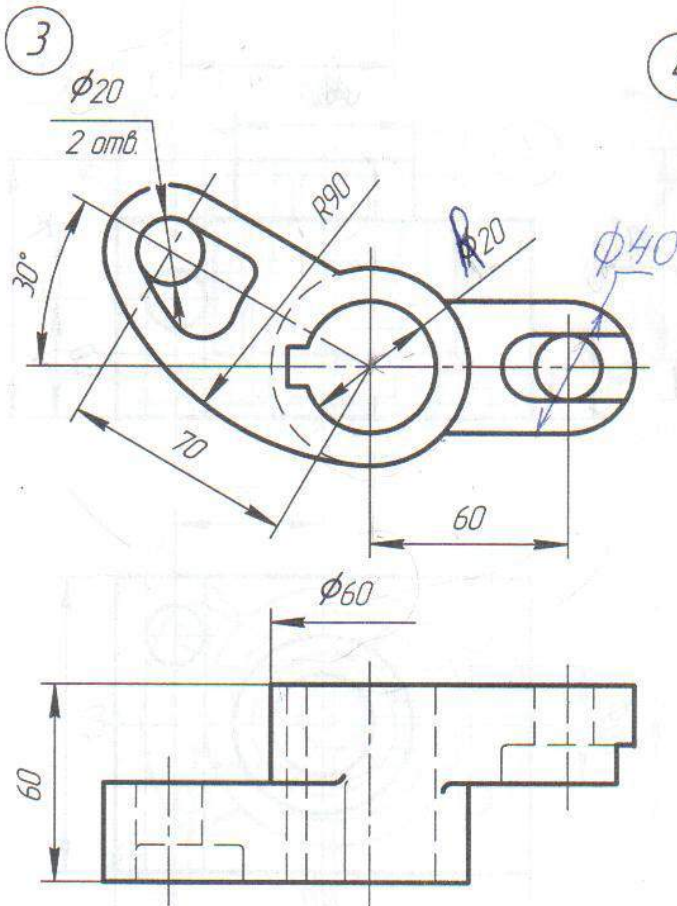
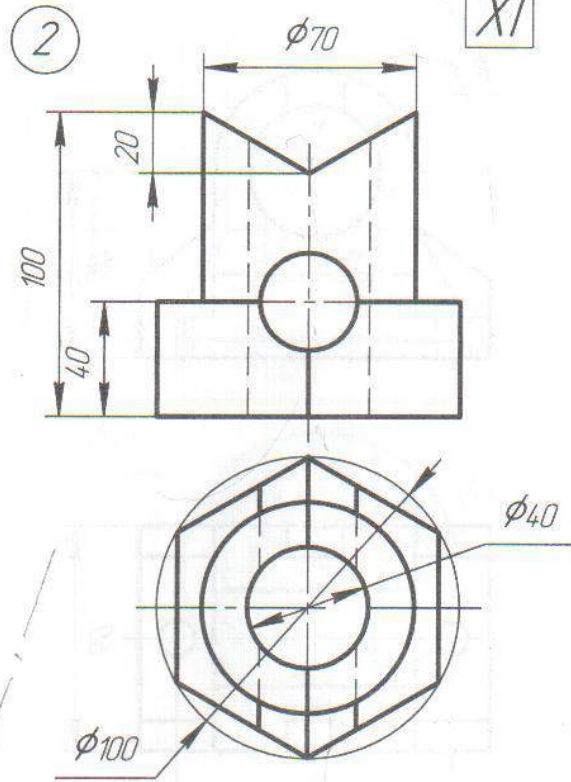
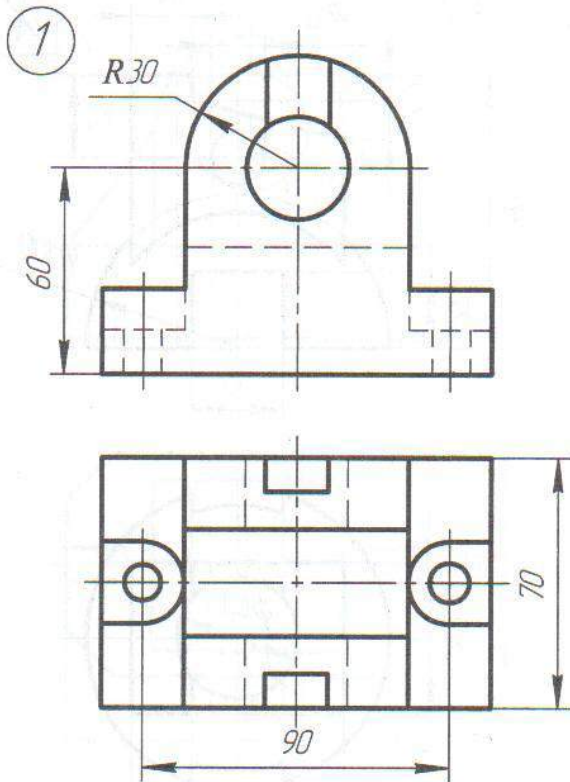


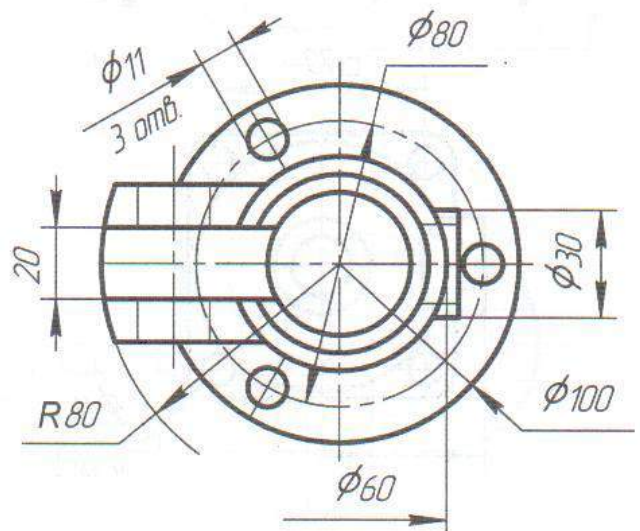
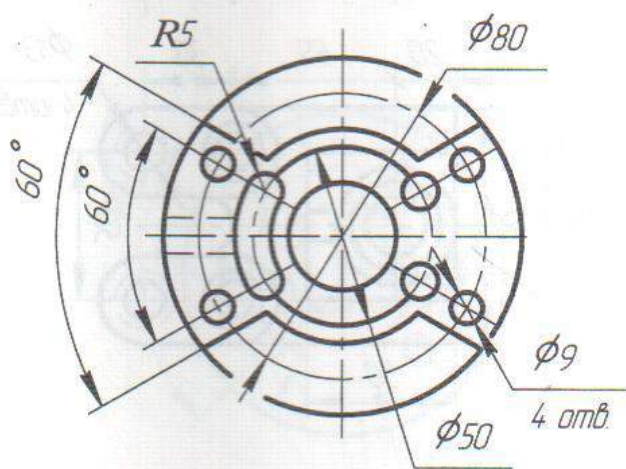
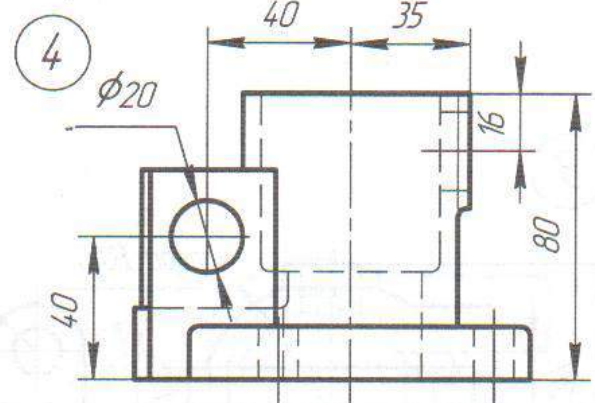
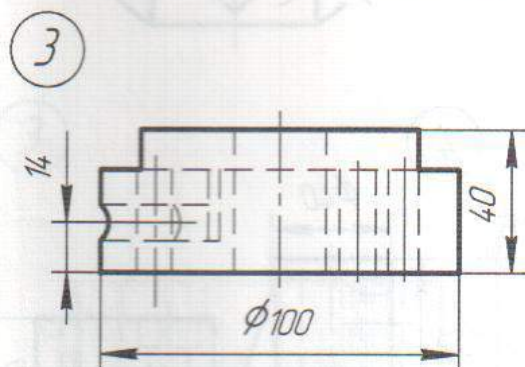
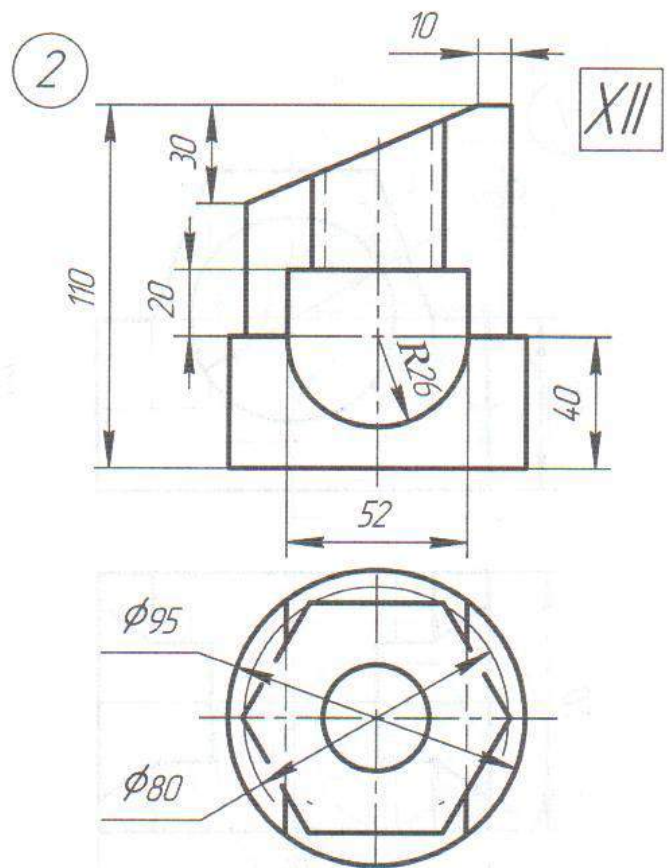
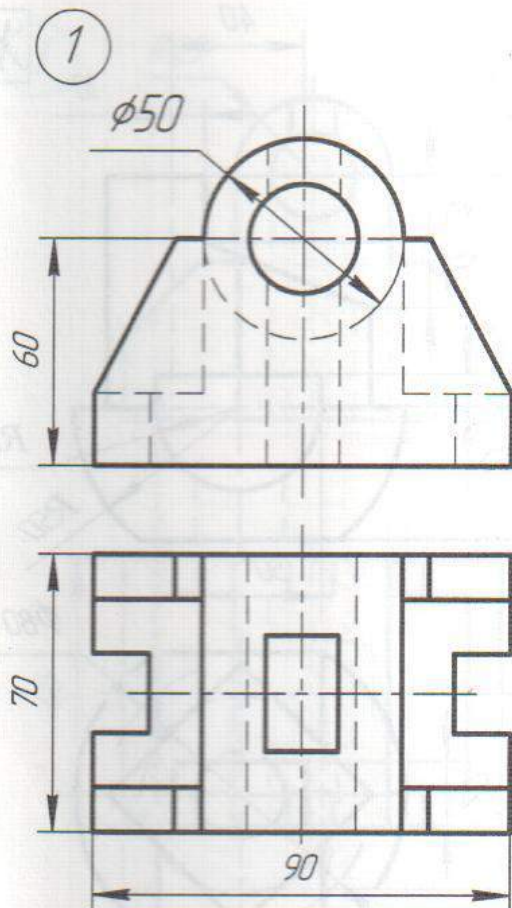




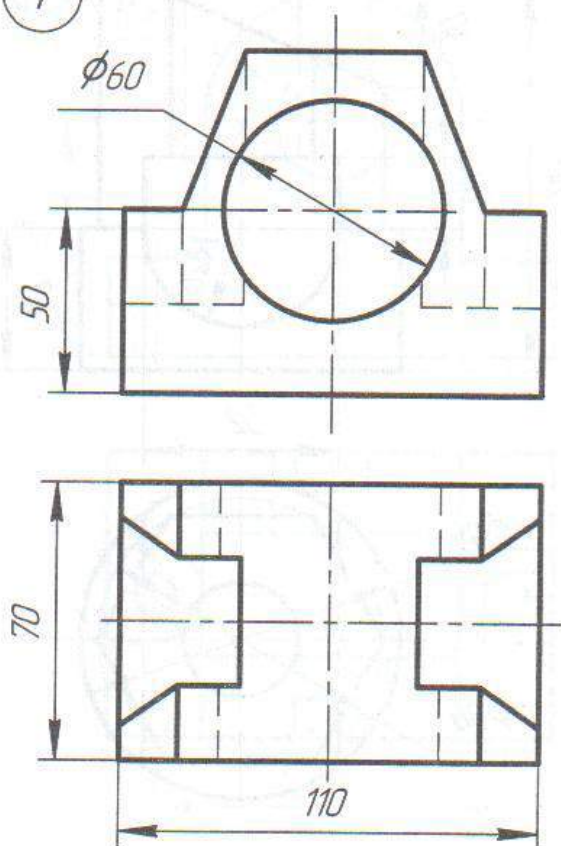




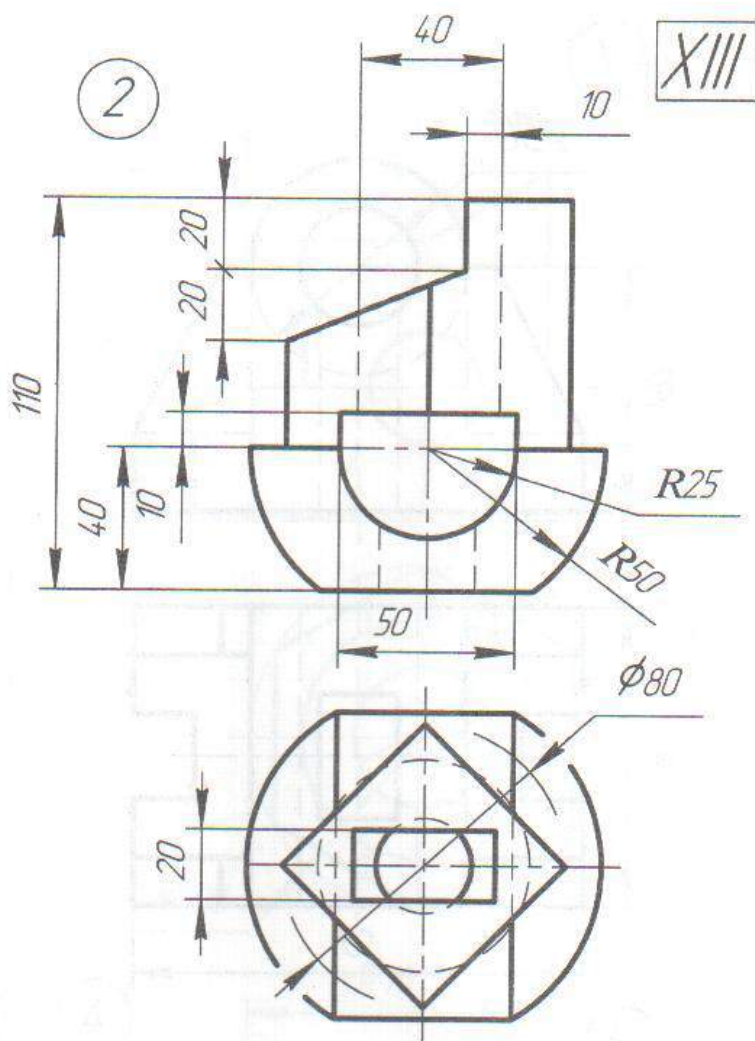




1

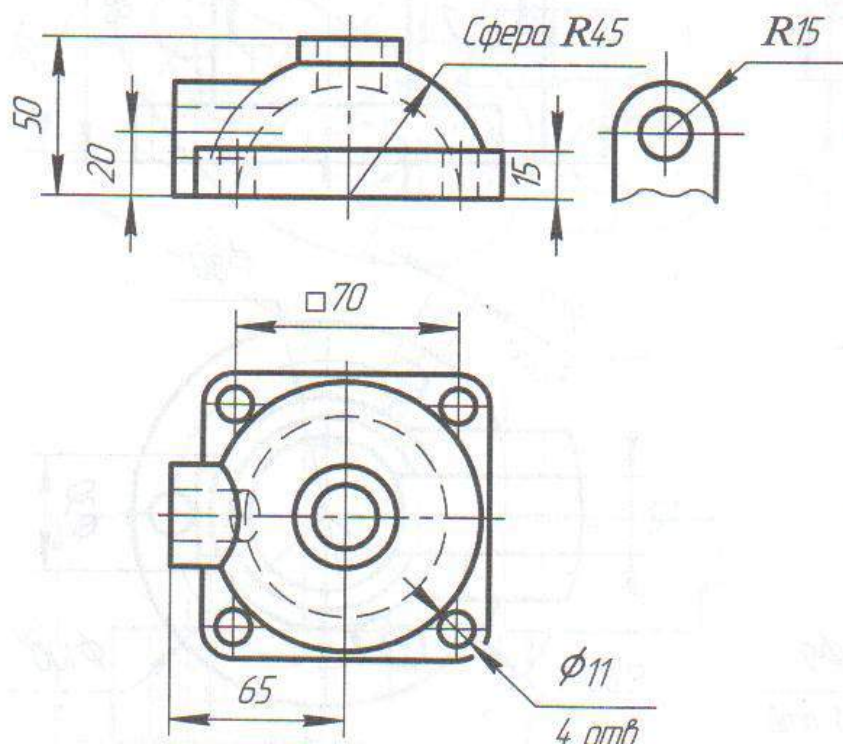


2

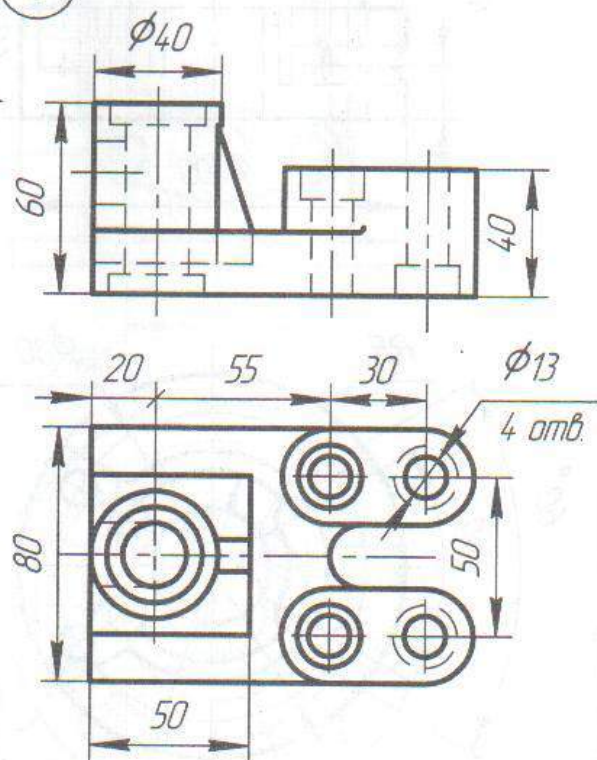


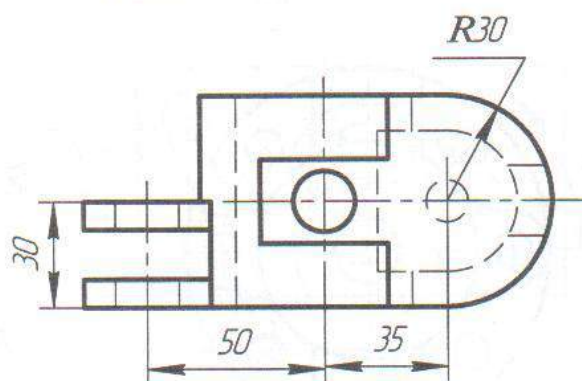
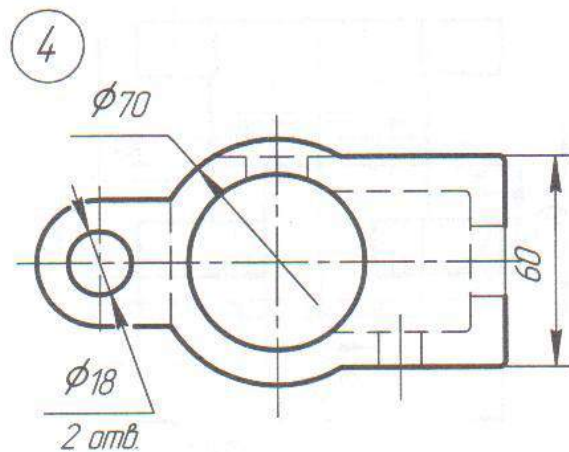
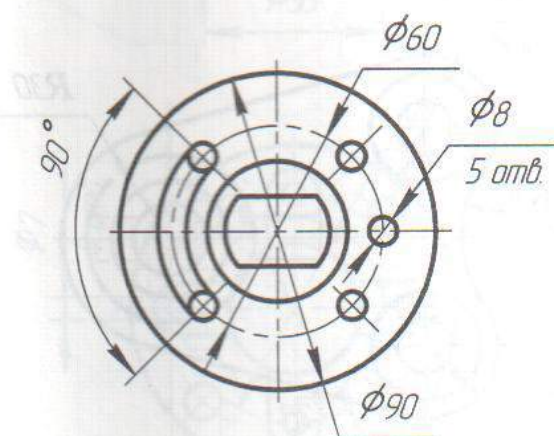
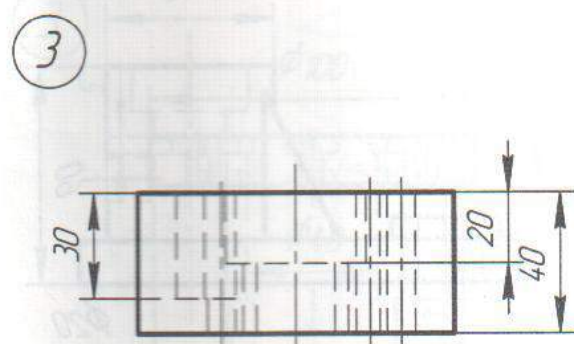
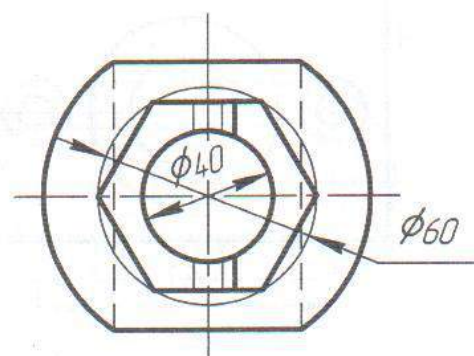
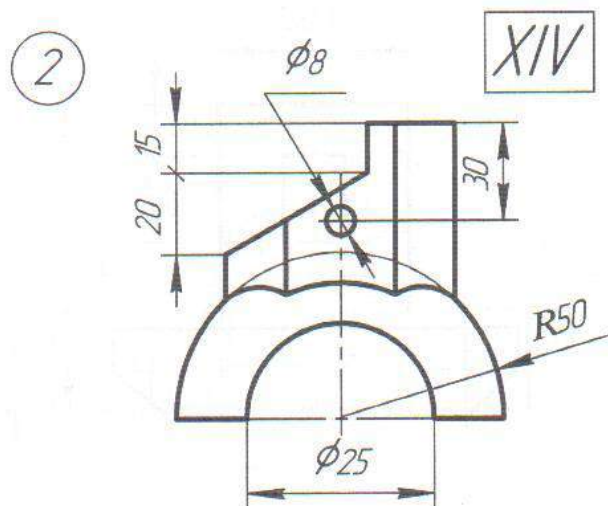
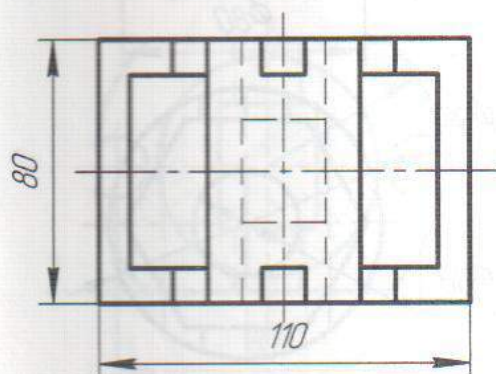
XIII

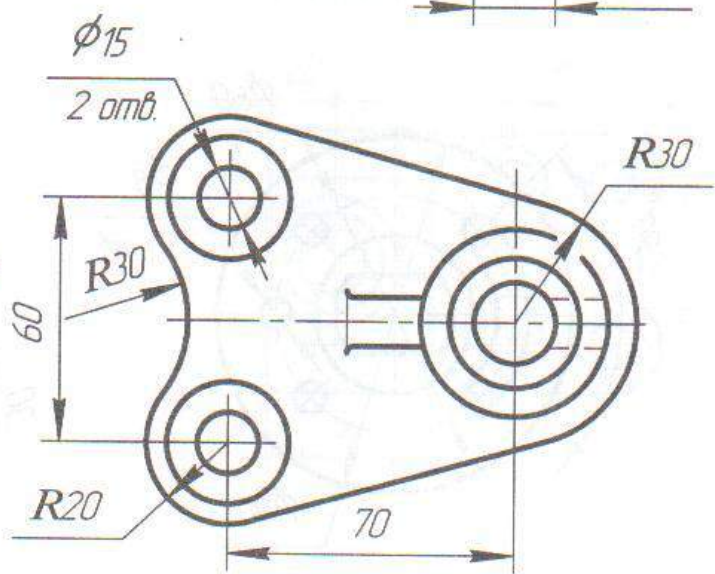
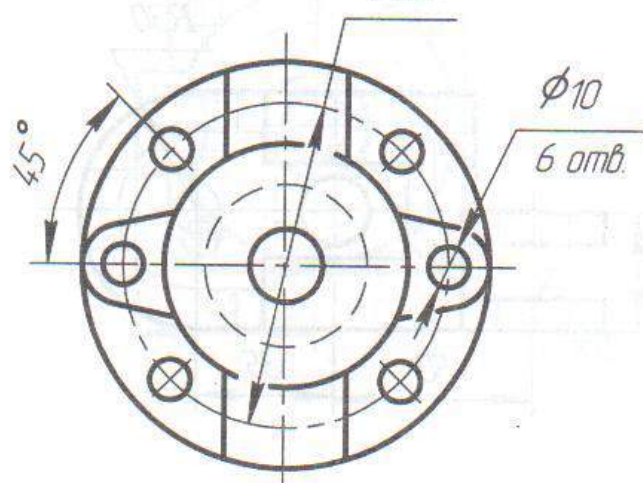
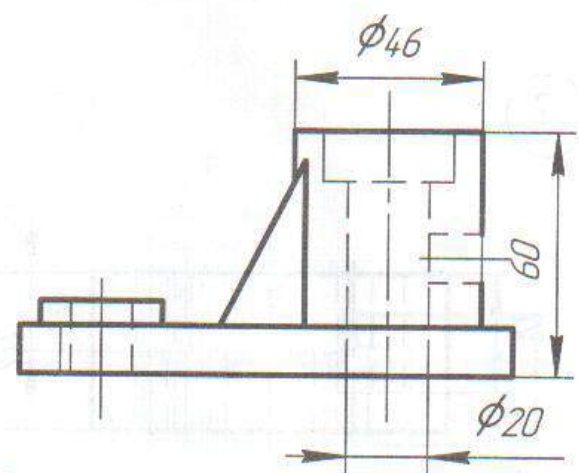
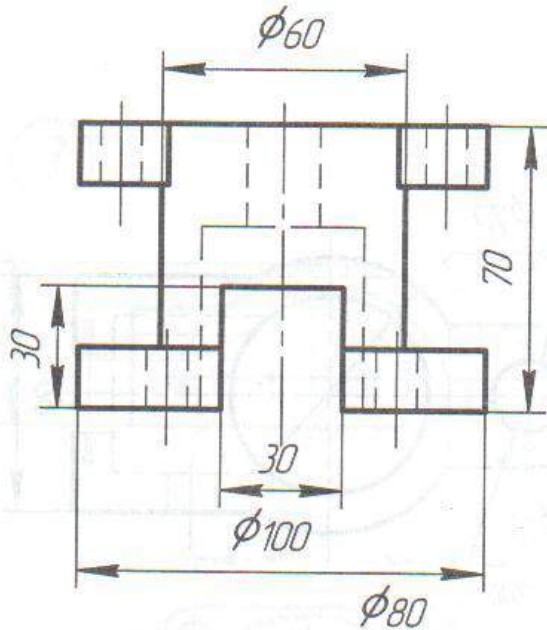
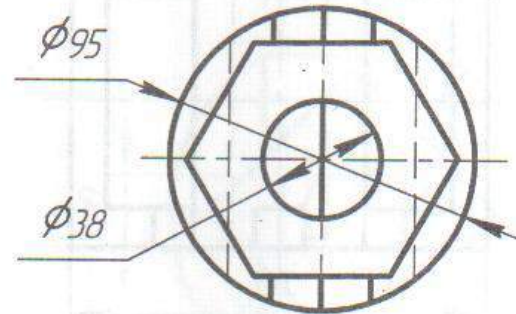
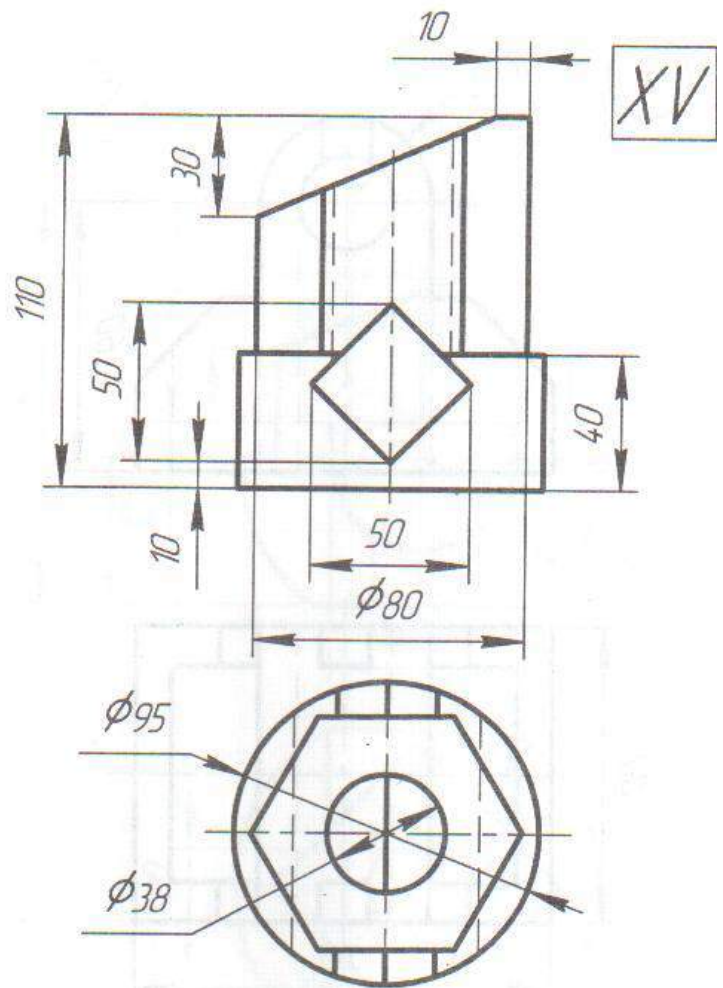
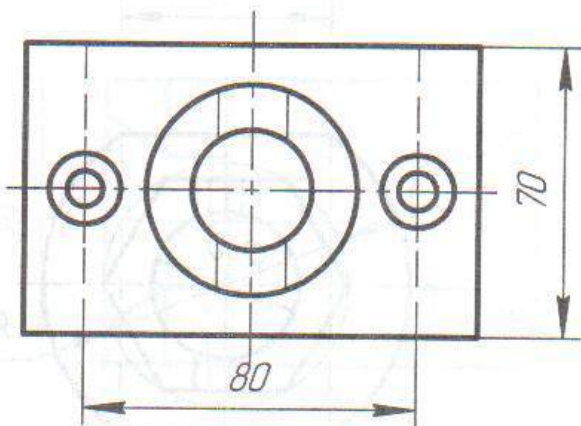
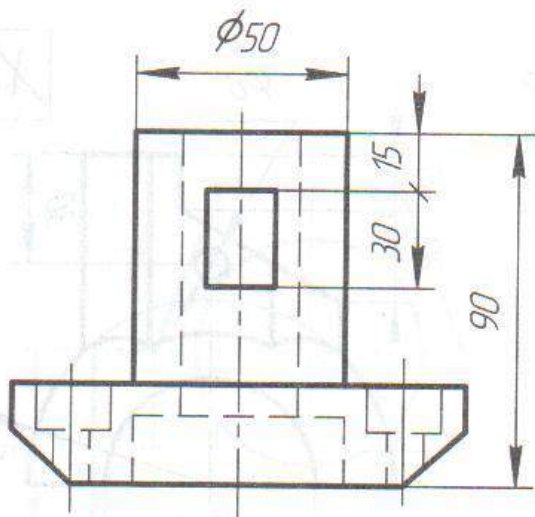
3



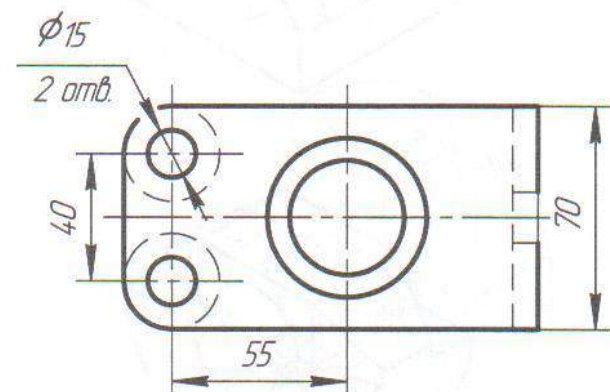
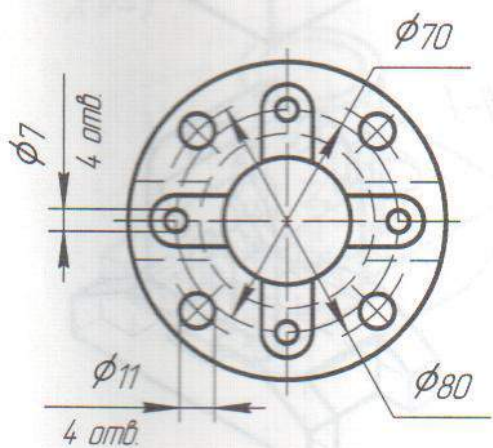
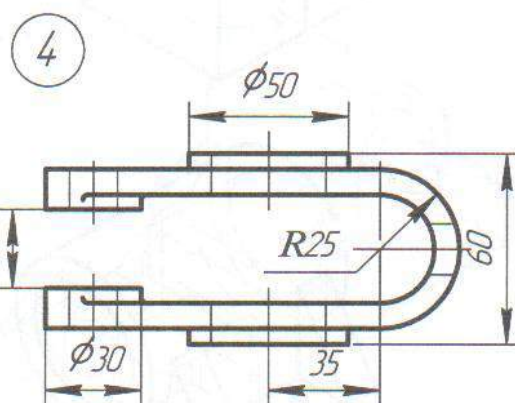
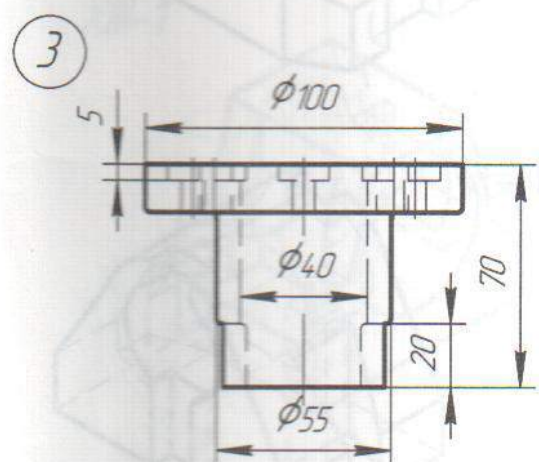
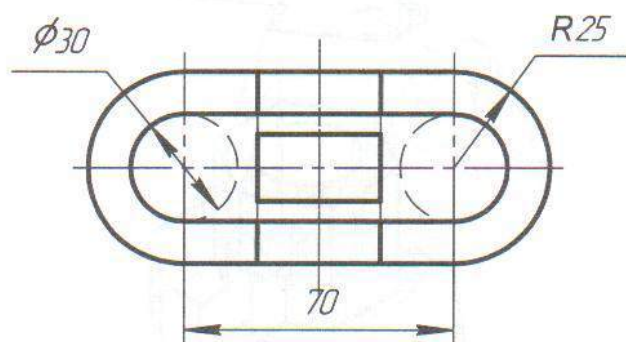
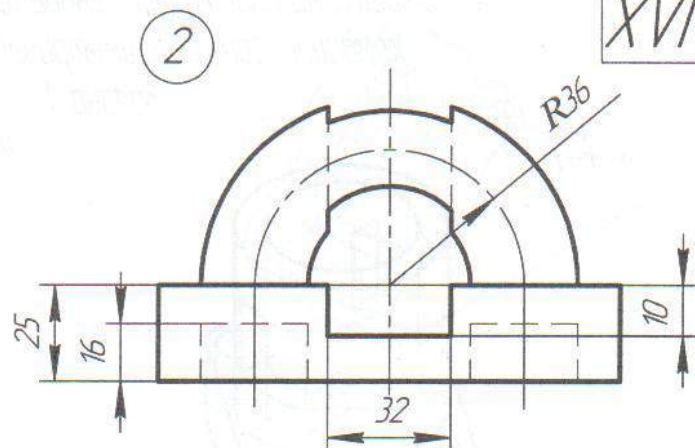
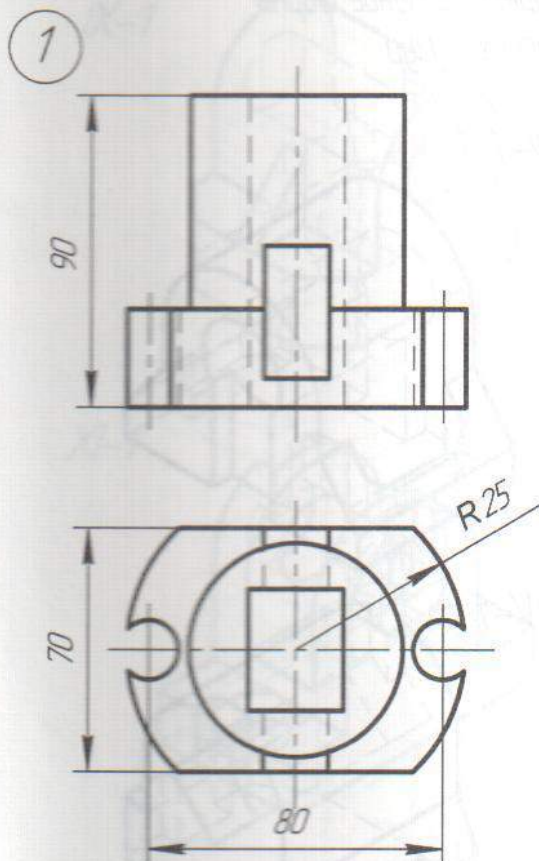
4







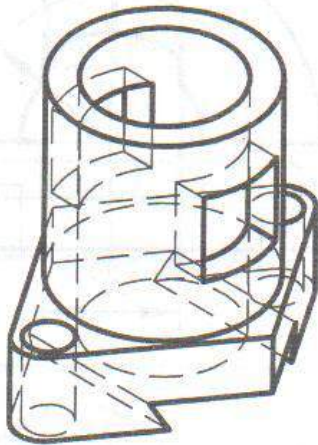
XVI



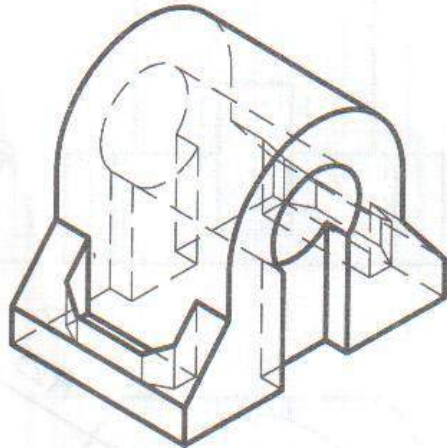
4.9 Ответы на пространственное представление формы
комбинированных геометрических фигур.

Задача 1

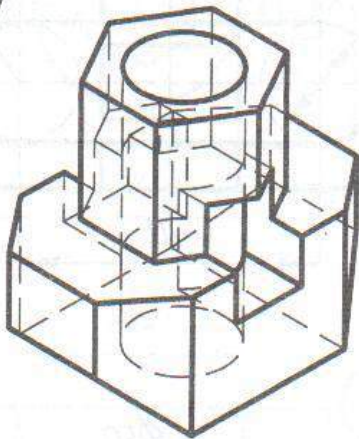
I-1



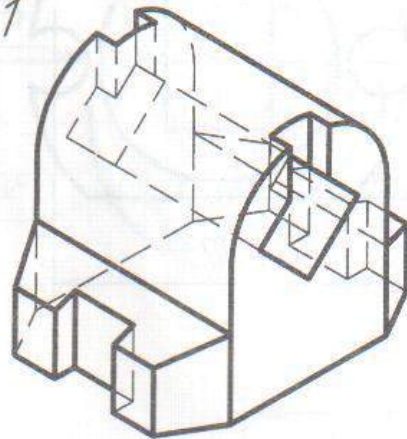
II-1



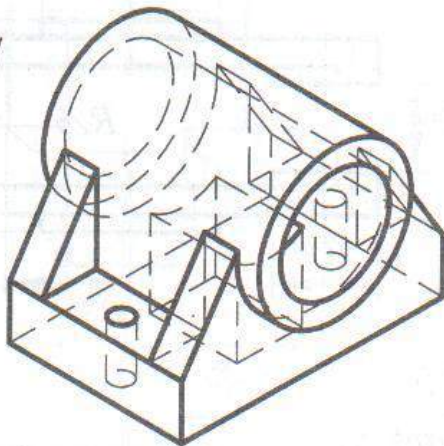
III-1



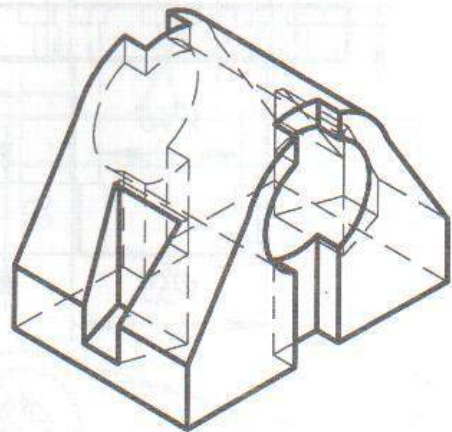
IV-1



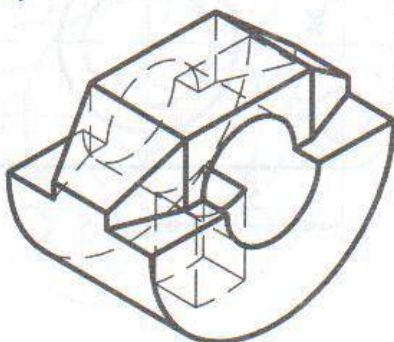
V-1



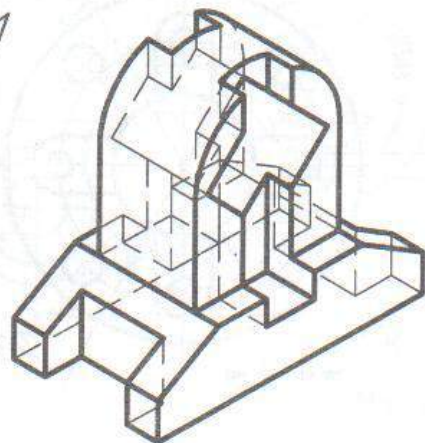
VI-1



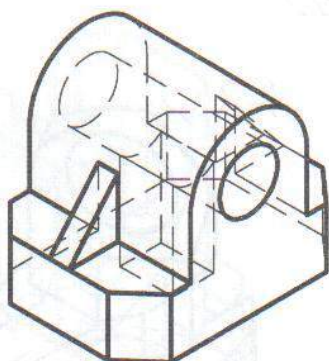
VII-1



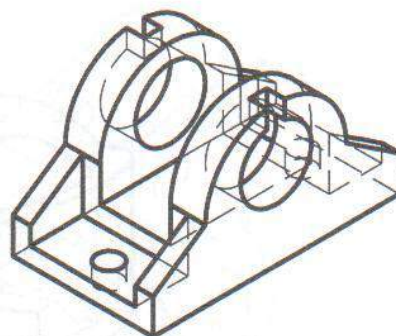
VIII-1



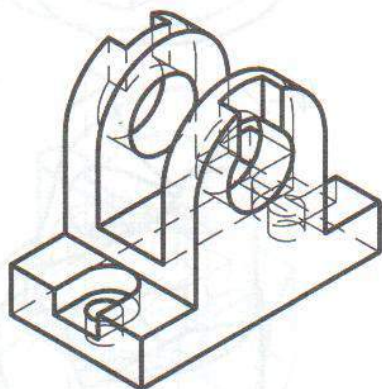
IX-1



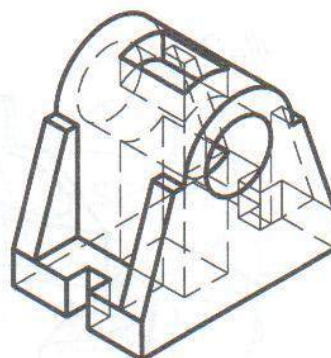
X-1



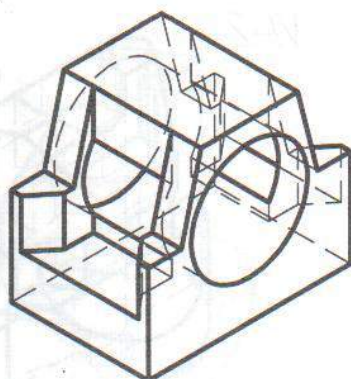
XI-1



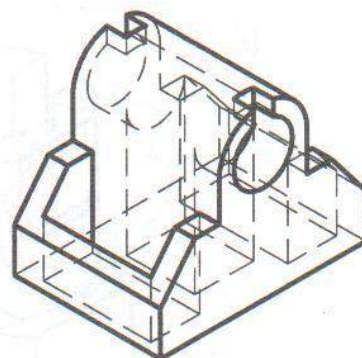
XII-1



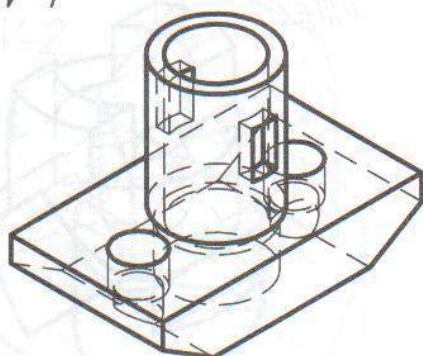
XIII-1



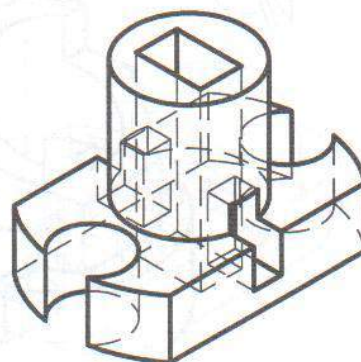
XIV-1



XV-1

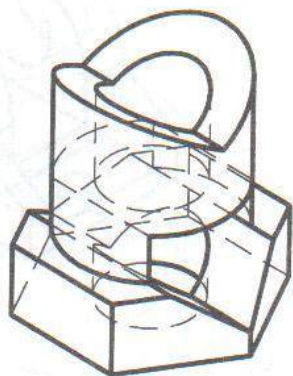


XVI-1

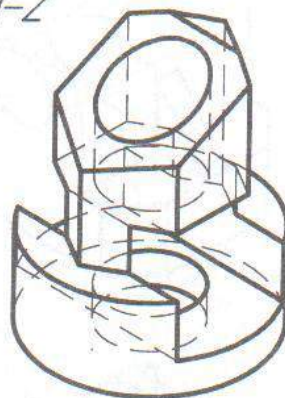


Задача 2

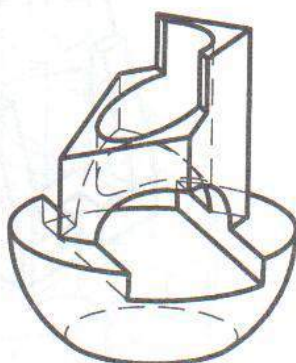
I-2



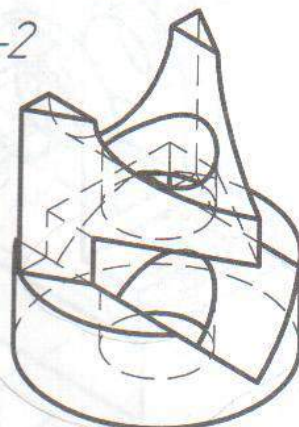
II-2



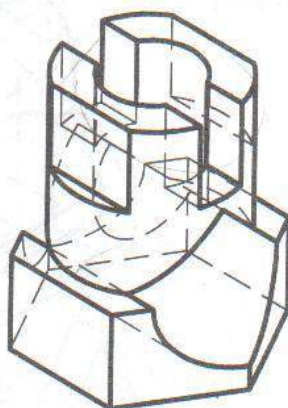
III-2



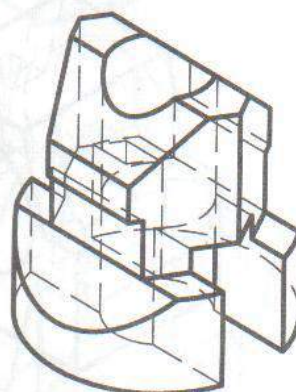
IV-2



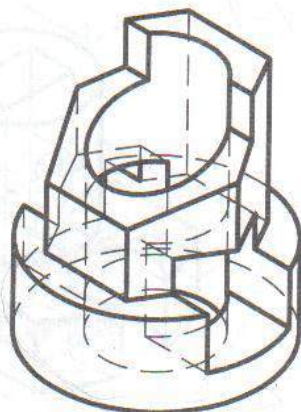
V-2



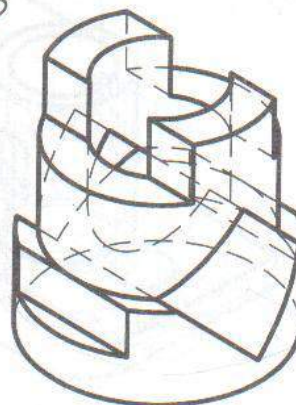
VI-2



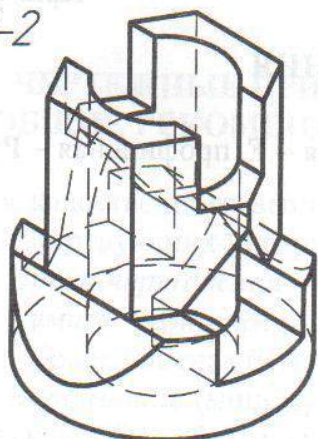
VII-2



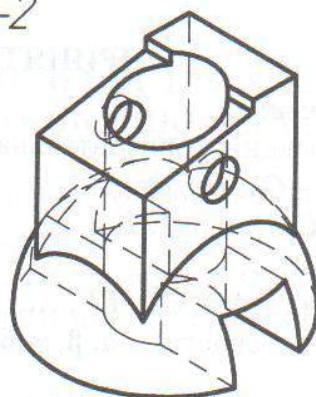
VIII-2



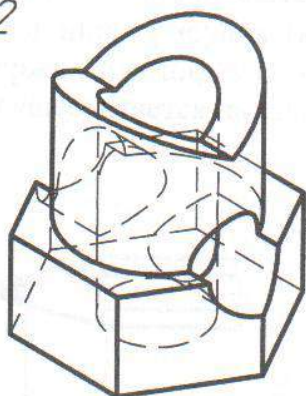
IX-2



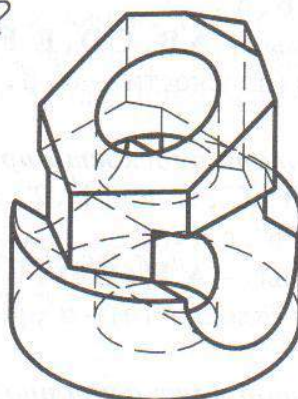
X-2



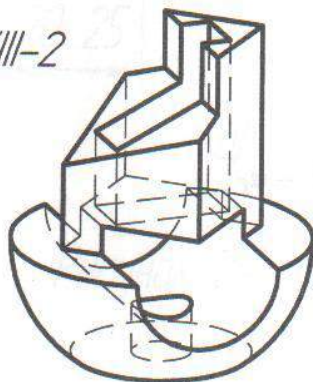
XI-2



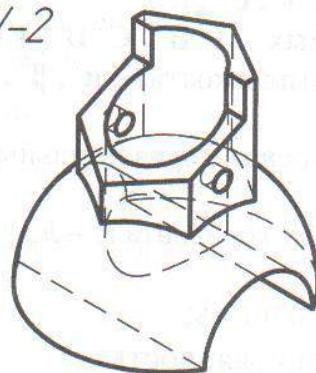
XII-2



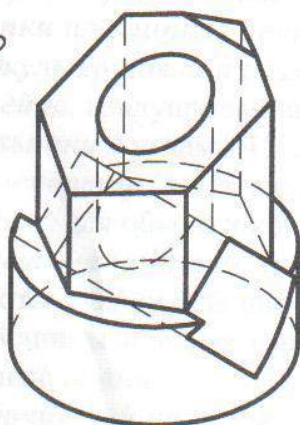
XIII-2



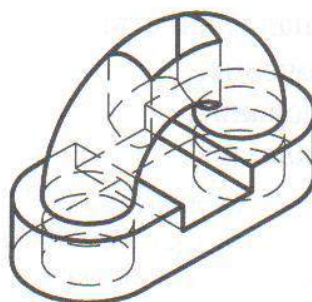
XIV-2



XV-2



XVI-2



ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В пространстве:

плоскости проекций: горизонтальная – H , фронтальная – F , профильная – P ;
 оси проекций – Ox , Oy , Oz ;
 точки – $A, B, C, \dots$ или $1, 2, 3, \dots$;
 прямые – $a, b, c, \dots$;
 отрезки прямых – $AB, CD, EF, \dots$;
 поверхности (плоскости) – $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \dots$

На горизонтальной плоскости проекций:

точки – $A', B', C', \dots$ или $1', 2', 3', \dots$;
 прямые – $a', b', c', \dots$;
 отрезки прямых – $A'B', C'D', E'F', \dots$;
 поверхности (плоскости) – $\alpha', \beta', \gamma', \delta', \epsilon', \dots$

На фронтальной плоскости проекций:

точки – $A'', B'', C'', \dots$ или $1'', 2'', 3'', \dots$;
 прямые – $a'', b'', c'', \dots$;
 отрезки прямых – $A''B'', C''D'', E''F'', \dots$;
 поверхности (плоскости) – $\alpha'', \beta'', \gamma'', \delta'', \epsilon'', \dots$

На профильной плоскости проекций:

точки – $A''', B''', C''', \dots$ или $1''', 2''', 3''', \dots$;
 прямые – $a''', b''', c''', \dots$;
 отрезки прямых – $A'''B''', C'''D''', E'''F''', \dots$;
 поверхности (плоскости) – $\alpha''', \beta''', \gamma''', \delta''', \epsilon''', \dots$

Следы плоскости: горизонтальный – α_h , фронтальный – α_f .

Линии уровня: горизонталь – h , фронталь – f

// – параллельность;

$\perp$ – перпендикулярность;

$\cdot$ – скрещивающиеся прямые;

$\cap$ – пересечение;

$\in$ – принадлежность;

$\subset$ – включение;

$\Rightarrow$ – следование;

$=$ – совпадение.

ЧЕРТЕЖНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ИНСТРУМЕНТЫ. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЧЕРТЕЖЕЙ

Для качественного выполнения графических работ необходимо иметь комплект соответствующих инструментов, принадлежностей и материалов.

1. *Доска чертежная* (желательно иметь ее под формат бумаги А).
2. *Бумага чертежная*. Для получения чертежей лучшего качества рекомендуется более плотная бумага.
3. *Карандаши* (минимум два – твердый марки Т или 2Т, мягкий – М или твердо-мягкий ТМ). Карандаши нужной твердости подбираются в зависимости от качества бумаги и затачиваются, как показано на рисунке 1: для черчения сплошных тонких линий – рисунок 1а, обводки сплошных основных линий – рисунок 1б, заточка стержня для циркуля – рисунок 1в. Окончательная доводка карандаша по толщине осуществляется на шлифовальной шкурке или плотной бумаге.

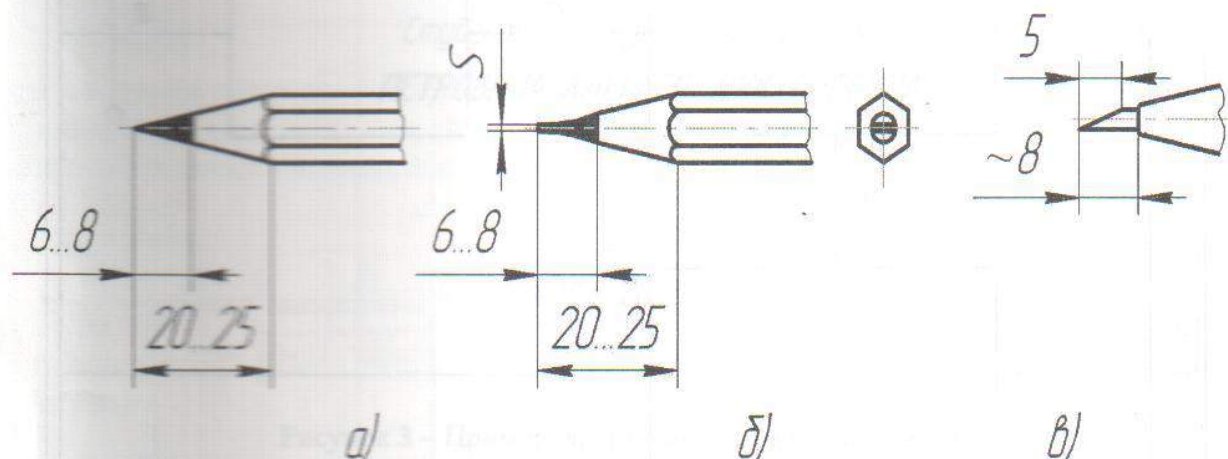


Рисунок 1 – Заточка стержня карандаша

4. *Стирка карандашная*.
5. *Кнопки или липкая лента* для крепления листа на чертежной доске.
6. *Циркуль круговой и разметочный*.
7. *Линейка*, градуированная в мм.
8. *Угольники* с углами 45°, 90°, 45° и 30°, 90°, 60°.
9. *Транспортир* (желательно большего размера).
10. *Лекало* для обводки кривых линий.
11. *Рейсшина* (линейка, соединенная под углом 90° с поперечной планкой). Во время работы планку рейсшины прижимают к левой кромке чертежной доски. С помощью рейсшины проводят горизонтальные, а вместе с угольником – вертикальные и наклонные линии.
12. *Перочинный нож* или *специальная точилка*.

Рекомендуется придерживаться следующей последовательности при выполнении индивидуальных графических работ.

1. Прикрепить лист чертежной бумаги к доске. Для этого прикалывают сначала левый верхний угол, выравнивают верхнюю кромку листа по рейшине, затем прикалывают остальные углы.

2. Выделить на листе требуемый формат, например, А3 (297×420) и ограничить рамкой рабочее поле чертежа, а затем в правом нижнем углу разграфить основную надпись по ГОСТ 2.104–68. Размеры и заполнение основной надписи см. приложение 3, рисунок 15.

3. Произвести компоновку листа так, чтобы рабочее поле чертежа было заполнено равномерно. Расстояние между основными изображениями и рамкой чертежа по горизонтали и вертикали должно быть примерно одинаковым (см. рисунок 2).

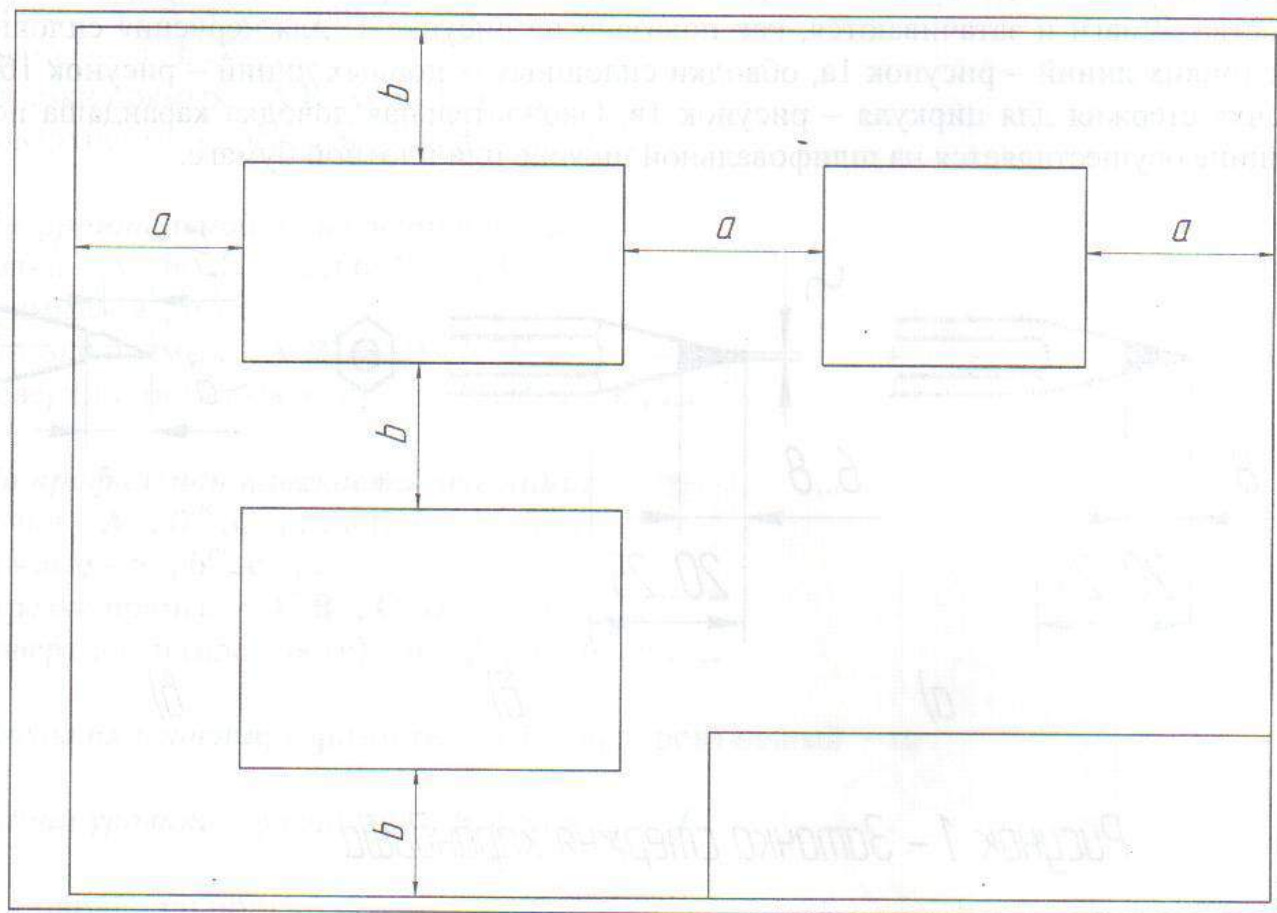


Рисунок 2 – Компоновка листа

4. Выполнить задание в тонких линиях. Все линии построения должны быть тонкими, но четкими и выполненными с легким нажимом.

5. После выполнения графической работы в тонких линиях необходимо самостоятельно проверить чертеж и предъявить его для проверки преподавателю.

6. Внести соответствующие исправления, внимательно проверить задание, а затем приступить к обводке чертежа в следующем порядке:

- аккуратно удалить резинкой вспомогательные линии построения;
- последовательно обвести циркульные кривые, горизонтальные, вертикальные и наклонные линии видимого контура; выполнить штриховку, нанести размерные линии, стрелки, размерные числа и надписи. При обводке сопряжений между сопрягаемыми линиями рекомендуется оставлять промежуток 0,5-

1. Дном, который затем доводится от руки. Части листа, на которых в данный момент не производится работа, во избежание загрязнения, рекомендуется прикрывать листами чистой бумаги.

7. Индивидуальные графические работы предъявляются на зачет в сброшюрованном виде с оформленным титульным листом (рисунок 3).

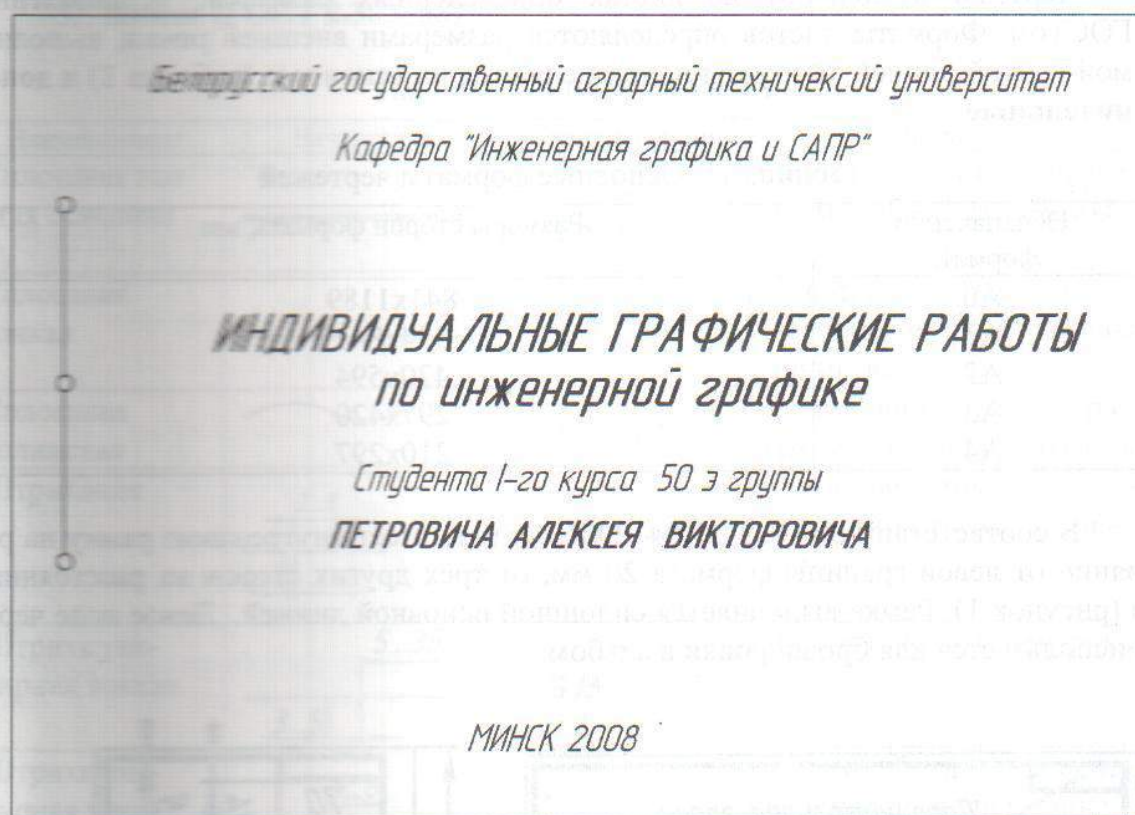


Рисунок 3 – Пример оформления титульного листа

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

1. Форматы (ГОСТ 2.301–68) листов

Чертежи выполняют на листах определённых размеров, установленных ГОСТом. Форматы листов определяются размерами внешней рамки, выполняемой тонкой линией. Форматы подразделяются на **основные** (таблица 1) и **дополнительные**.

Таблица 1 – Основные форматы чертежей

Обозначение формата	Размеры сторон формата, мм
A0	841x1189
A1	594x841
A2	420x594
A3	297x420
A4	210x297

В соответствии с ГОСТ 2.104–2006 чертёж имеет внутреннюю рамку на расстоянии от левой границы формата 20 мм, от трёх других сторон на расстоянии 5 мм (рисунок 1). Рамка выполняется сплошной основной линией. Левое поле чертежа используется для брошюровки в альбом.

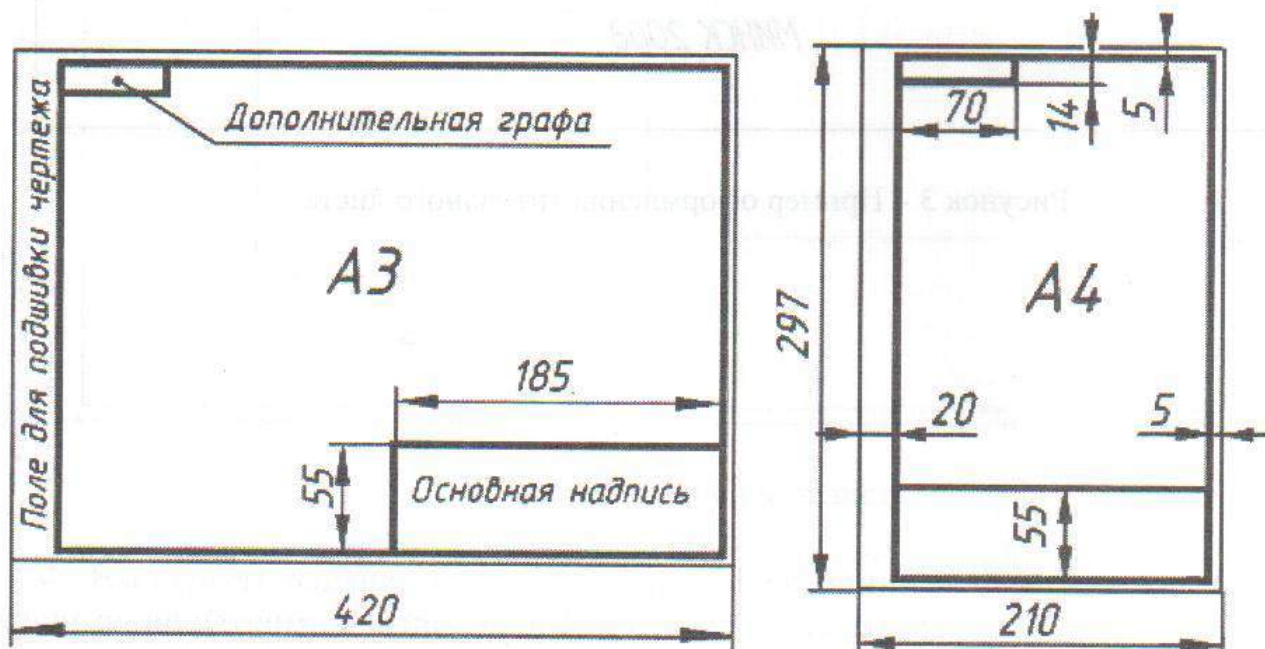


Рисунок 1 – Оформление чертежа

2. Масштабы (ГОСТ 2.302–68)

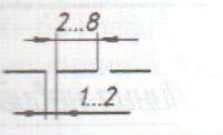
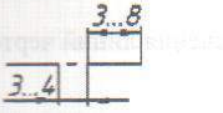
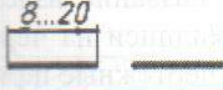
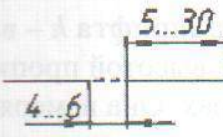
Изображения на чертежах могут выполняться в натуральную величину (M1:1), с увеличением (например, M2:1) и с уменьшением (например, M1:2). Масштаб указывается в предназначенной для этого графе основной надписи. Если изображение выполняется в масштабе, отличающемся от указанного в основной надписи, его уточняют непосредственно рядом с изображением. Например: А (5 : 1); Б-Б (1 : 4) и т. п.

Таблица 2 – Масштабы изображений

Масштабы уменьшения	1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000
Натуральная величина	1:1
Масштабы увеличения	2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1

3. Линии (ГОСТ 2.303–68)

Таблица 3 – Линии чертежа

Наименование	Начертание	Толщина линии	Назначение
Сплошная толстая основная		S (0,5–1,4мм)	Линии видимого контура, линии перехода видимые
Сплошная тонкая		S / 3 ... S / 2	Линии выносные и размерные, линии штриховки, линии-выноски и др.
Сплошная волнистая		S / 3 ... S / 2	Линии обрыва, линии разграничения вида и разреза
Штриховая		S / 3 ... S / 2	Линии невидимого контура, линии перехода невидимые
Штрихпунктирная тонкая		S / 3 ... S / 2	Линии осевые и центровые и др.
Штрихпунктирная утолщенная		S / 2 ... 2/3 S	Линии, обозначающие поверхности, подлежащие обработке или покрытию и др.
Разомкнутая		S ... 1 1/2 S	Линии сечений
Сплошная тонкая с изломами		S / 3 ... S / 2	Длинные линии обрыва
Штрихпунктирная с двумя точками		S / 3 ... S / 2	Линии сгиба на развертках, линии для изображений изделий в крайних положениях и др.

Изображения на чертежах выполняются с помощью линий. Их наименование, начертание и основное назначение для всех отраслей промышленности и строительства устанавливает ГОСТ 2.303–68 (таблица 3).

Толщина линий одного и того же типа должна быть одинакова для всех изображений на данном чертеже, вычерчиваемых в одинаковом масштабе.

Типовые примеры начертания и основного назначения некоторых линий приведены на рисунке 2.

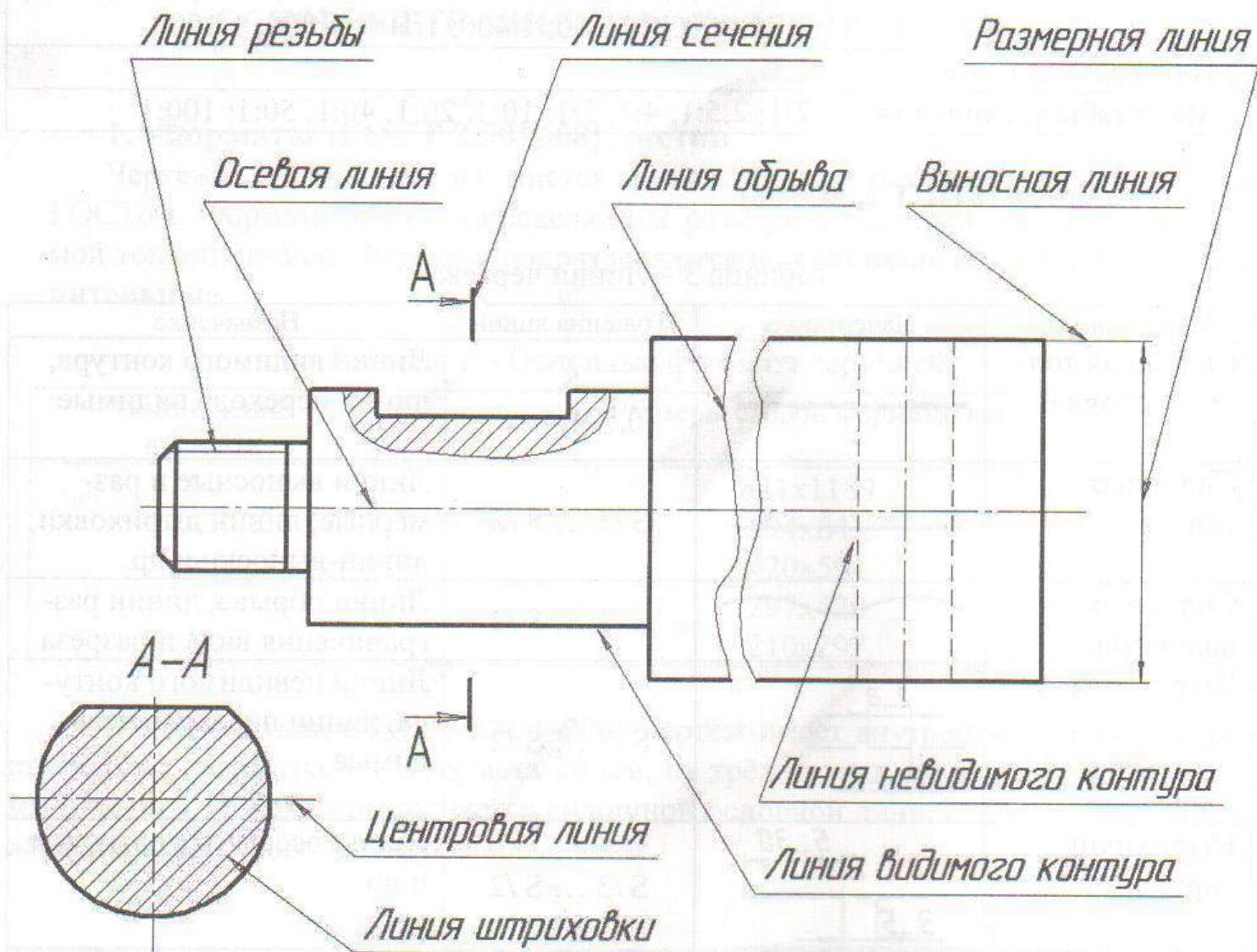


Рисунок 2 – Пример начертания и назначения линий чертежа

4. Шрифты чертежные (ГОСТ 2.304-81)

Чертежи содержат необходимые надписи: название изделий, размеры, данные о материале, обработке и другие надписи. Надписи на чертеже должны быть четкими и ясными. ГОСТ 2.304-81 устанавливает чертежные шрифты для надписей, наносимых на чертежи и другие технические документы всех отраслей промышленности и строительства.

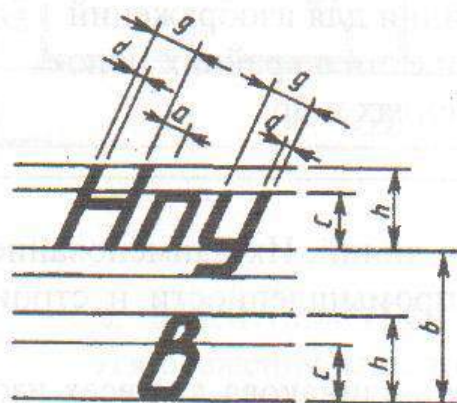


Рисунок 3 – Соотношение размеров шрифта

Размер шрифта h – величина, определяемая высотой прописных букв в миллиметрах. Она измеряется перпендикулярно к основанию строки (рисунок 3). Высота строчных букв c определяется из соотношения их высоты (без оторостков) к размеру шрифта h , например $c = 7/10 h$. **Ширина буквы g** – наибольшая ширина буквы определяется по отношению к размеру шрифта h , например, $g = 6/10 h$, или по отношению к толщине линии шрифта $g = 6d$.

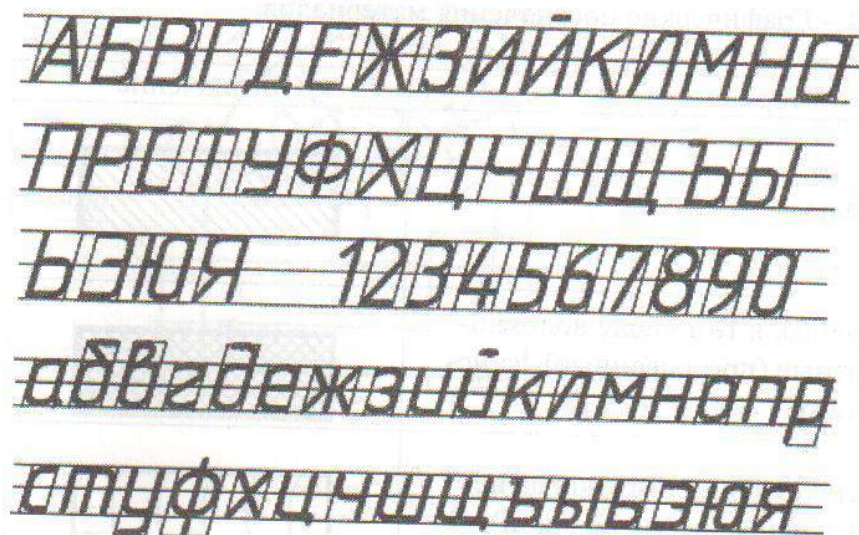


Рисунок 4 – Примеры написания букв и цифр чертежным шрифтом

Толщина линии шрифта d – толщина, определяемая в зависимости от типа и высоты шрифта. Устанавливаются следующие размеры шрифта: (1,8); 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40. Примеры написания букв и цифр чертежным шрифтом приведены на рисунке 4.

5. Графические обозначения материалов (ГОСТ 2.306–68)

Для удобства пользования чертежом в сечениях и разрезах наносят установленные ГОСТ 2.306–68 графические обозначения материалов.

Параллельные линии штриховки проводятся под углом 45° к линиям рамки чертежа (рисунок 6, а) или к оси вынесенного или наложенного сечения. Если линии штриховки, проведенные к линиям рамки чертежа под углом 45° , совпадают по направлению с линиями контура или осевыми линиями, то вместо угла 45° следует брать угол 30° или 60° (рисунок 6, б).

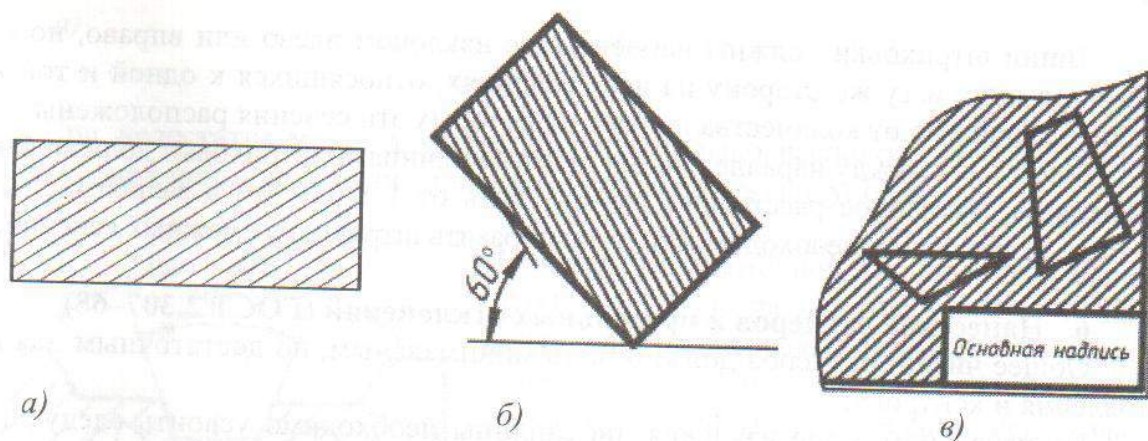
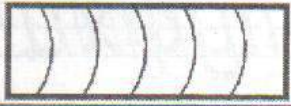


Рисунок 6 – Нанесение штриховки в разрезах и сечениях

Графические обозначения материалов в зависимости от вида материалов должны соответствовать, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Графические обозначения материалов

Материал	Обозначение
Металлы и твердые сплавы	
Неметаллические материалы, в том числе волокнистые, монолитные и плитные (прессованные), за исключением указанных ниже	
Дерево (обозначение следует применять, когда нет необходимости указывать направление волокон)	
Керамика и силикатные материалы для кладки, а также электротехнический фарфор	
Стекло и другие светопрозрачные материалы	
Жидкости	

Линии штриховки должны наноситься с наклоном влево или вправо, но как правило, в одну и ту же сторону на всех сечениях, относящихся к одной и той же детали, независимо от количества листов, на которых эти сечения расположены.

Расстояние между параллельными прямыми линиями штриховки должно быть одинаковым. Указанное расстояние должно быть от 1 до 10 мм в зависимости от площади штриховки и необходимости разнообразить штриховку смежных сечений.

6. Нанесение размеров и предельных отклонений (ГОСТ 2.307–68)

Общее число размеров должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля.

На начальном этапе изучения дисциплины необходимо усвоить следующие основные правила:

1) Размеры на чертежах указывают размерными числами, размерными и выносными линиями (сплошные тонкие) со стрелками с одного или обоих концов (рисунок 7).

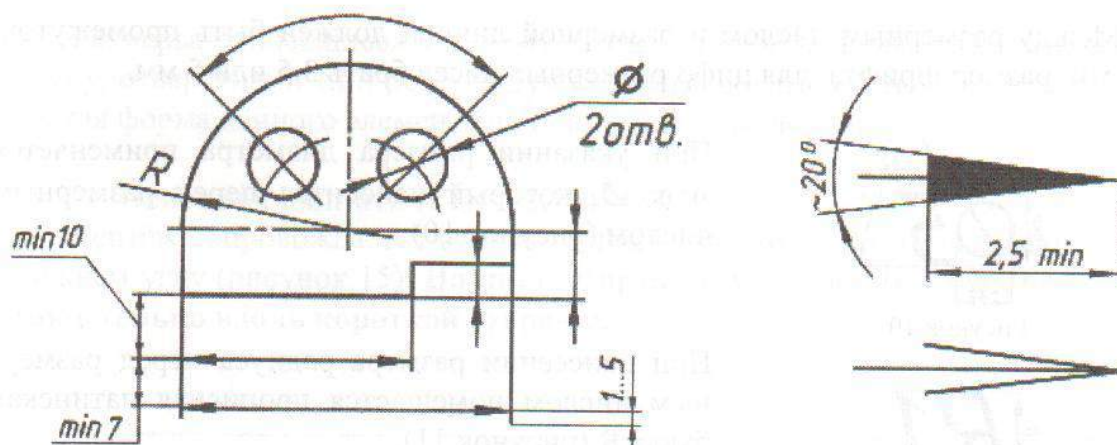


Рисунок 7

Линейные размеры и предельные отклонения их указывают на чертеже в мм, без указания единицы измерения, а угловые размеры – в градусах, минутах и секундах, например, 4° ; $0^\circ 45'$; $15^\circ 30' 25''$; $30^\circ \pm 10''$.

2) При недостатке места для стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, стрелки допускается заменять засечками, наносимыми под углом 45° к размерным линиям, или четко наносимыми точками (рисунок 8).

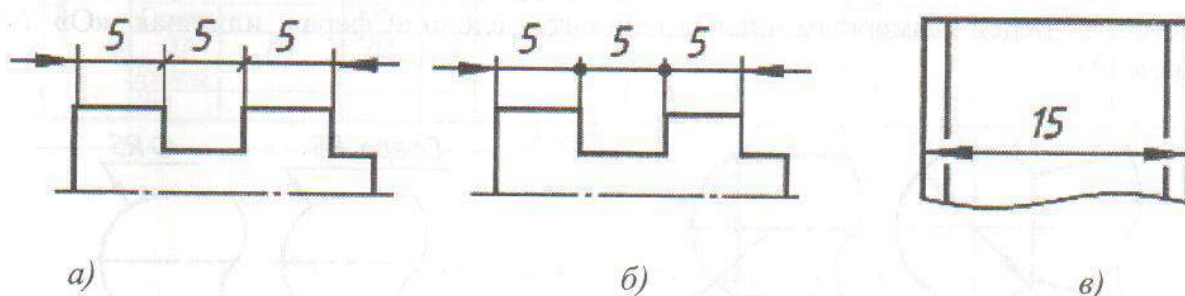


Рисунок 8

При недостатке места для стрелки из-за близко расположенной контурной или выносной линии последние допускается прерывать (рисунок 8, в).

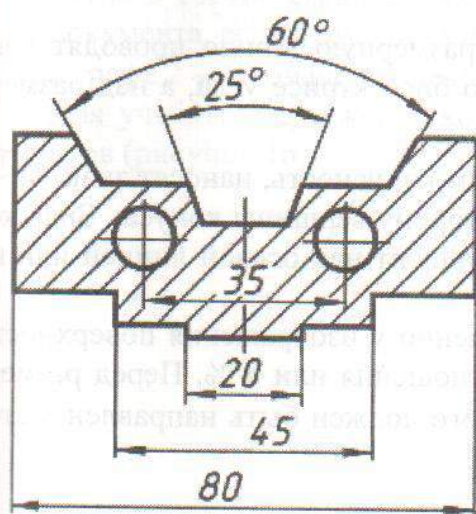


Рисунок 9

Величину изображённой детали можно определять только по размерным числам. Их наносят над размерными линиями возможно ближе к их середине (рисунок 9). В месте нанесения размерного числа осевые, центровые линии и линии штриховки прерывают (рисунок 9).

Минимальное расстояние между контуром и первой размерной линией, параллельной контуру, 10 мм, а между параллельными размерными линиями – 7 мм. Выносные линии должны выходить за концы стрелок размерной линии на 1...5 мм.

Между размерным числом и размерной линией должен быть промежуток в 0,8...1 мм, размер шрифта для цифр размерных чисел брать 3,5 или 5 мм.

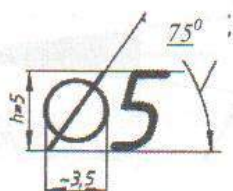


Рисунок 10

При указании размера диаметра применяется знак $\varnothing$, который наносится перед размерным числом (рисунок 10).



Рисунок 11

При нанесении размера радиуса перед размерным числом помещается прописная латинская буква R (рисунок 11).

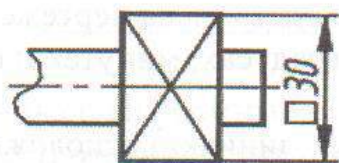


Рисунок 12

Размер квадрата наносится, как показано на рисунке 12.

Для обозначения диаметра или радиуса сферы применяются соответствующие знаки - $\varnothing$ или R (рисунок 13). Если сферу трудно отличить от других поверхностей, то перед размерным числом наносится слово «Сфера» или знак «O» (рисунок 14).

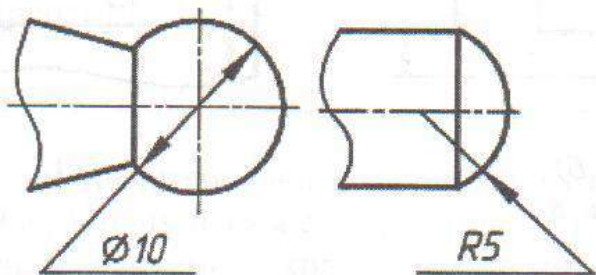


Рисунок 13

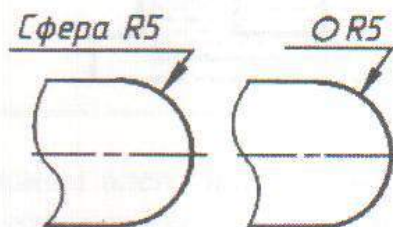


Рисунок 14

При нанесении размера дуги окружности размерную линию проводят концентрично дуге, а выносные линии – параллельно биссектрисе угла, а над размерным числом наносят знак $\frown$.

Перед размерным числом, характеризующим конусность, наносят знак $\triangleleft$, острый угол которого должен быть направлен в сторону вершины конуса. Знак конуса и конусность в виде соотношения следует наносить над осевой линией или на полке линии-выноски.

Уклон поверхности указывают непосредственно у изображения поверхности уклона или на полке линии-выноски в виде соотношения или в %. Перед размерным числом наносят знак $\angle$, острый угол которого должен быть направлен в сторону уклона.

Размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу (пазу, выступу, отверстию и т.п.) рекомендуется группировать в одном месте, где геометрическая форма данного элемента показана наиболее полно.

7. Основная надпись (ГОСТ 2.104–68)

Чертёж сопровождается основной надписью, которую располагают в правом нижнем углу (рисунок 15). На листе формата А4 основную надпись располагают только вдоль короткой стороны.

185

7 10 23 15 10

5 x 11 = 55

(14) (15) (16) (17) (18)

Изм./Лист № докум Подп. Дата

Разраб.

Проб.

Т.контр.

(10) (11) (12) (13)

Н.контр.

Утв.

(12)

15 17 18

Лист (4) Масса Масштаб

(15) (6)

Лист (7) Листов (8)

(13) (9)

Копировал

Формат А3

20

Рисунок 15 – Форма основной надписи для чертежей и схем

В графах основной надписи и дополнительных графах (номера граф на рисунке 15 указаны в скобках) приводятся следующие данные:

- в графе 1 – наименование изделия в именительном падеже в единственном числе в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109–73, а также наименование документа, если этому документу присвоен код;
- в графе 2 – обозначение документа;

Для учебных чертежей рекомендуется следующая структура обозначения документов (рисунок 16):

БГАТУ.ИГО4.01.015

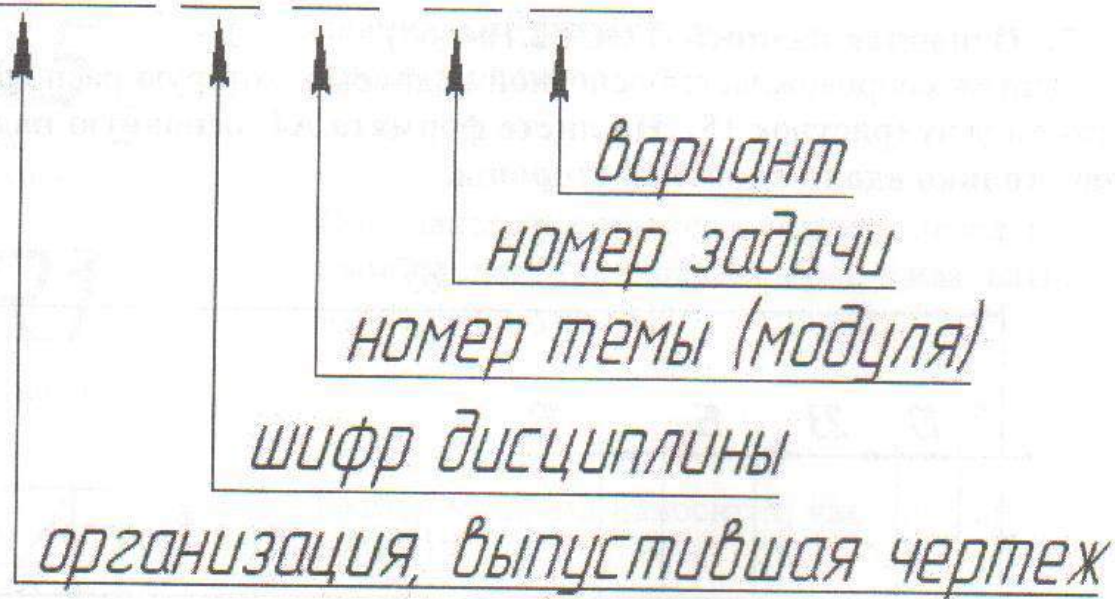
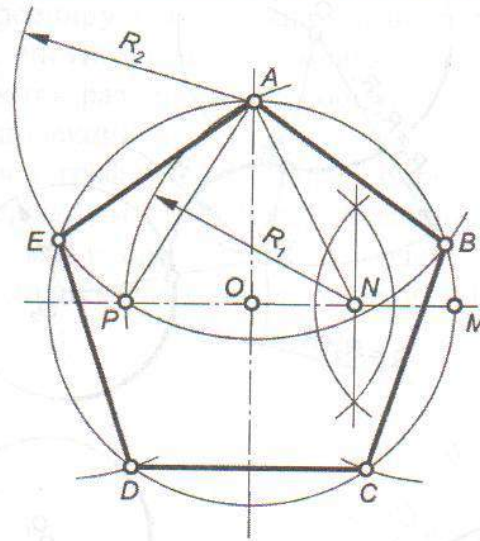


Рисунок 16 – Условное обозначение учебных чертежей

- в графе 3 – обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);
- в графе 4 – литеру, присвоенную данному документу по ГОСТ 2.103–68 . Здесь могут стоять буквы: “П” – техническое предложение, “Э” – эскизный проект, “Т” – технический проект, “О” – опытный образец, “А” – установочная серия, “В” – серийное или массовое производство, “И” – индивидуальное производство;
- в графе 5 – массу изделия по ГОСТ 2.109–73;
- в графе 6 – масштаб;
- в графе 7 – порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, эту графу не заполняют);
- в графе 8 – общее количество листов документа (графу заполняют только на первом листе);
- в графе 9 – наименование или различительный индекс предприятия, выпускающего документ (графу не заполняют, если различительный индекс содержится в обозначении документа);
- в графе 10 – характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ, в соответствии с формами 1 и 2;
- в графе 11 – фамилии лиц, подписавших документ;
- в графе 12 – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;
- в графе 13 – дату подписания документа;
- в графах 14–18 – графы таблицы изменений, которые заполняют в соответствии с ГОСТ 2.503–74.

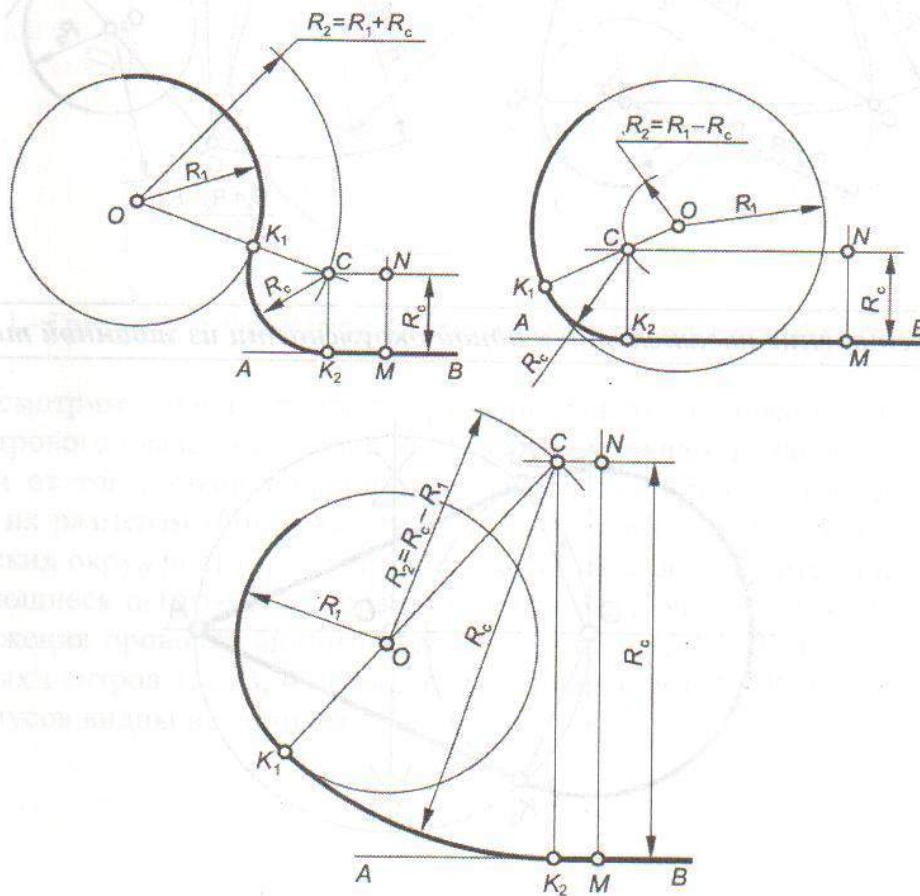
Таблица 1 – Некоторые геометрические построения

Деление окружности на пять частей

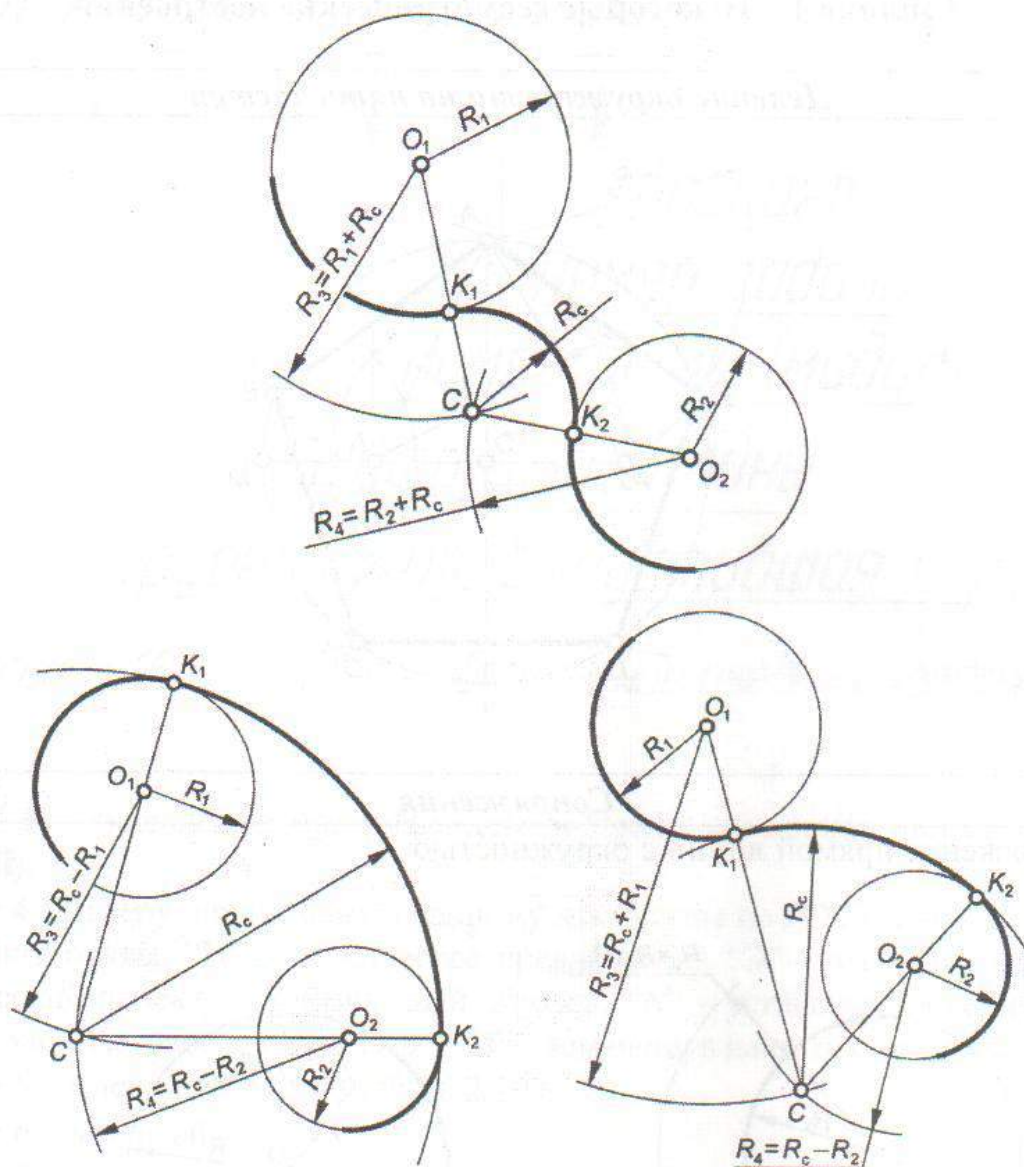


Сопряжения

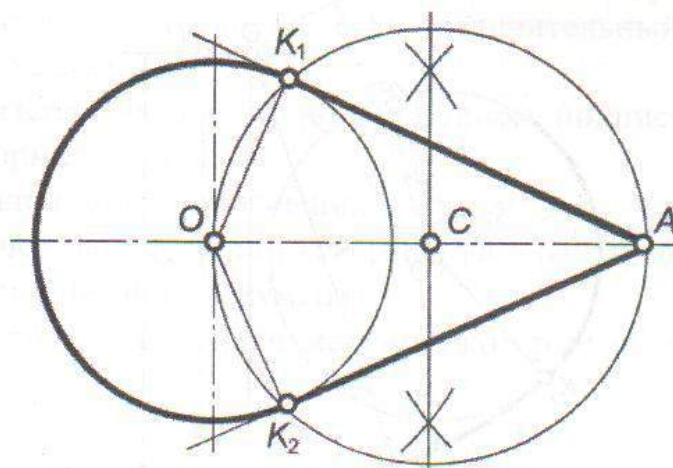
Сопряжение прямой линии с окружностью



Сопряжение двух заданных окружностей



Построение касательной к одной окружности из заданной точки



Построение 4-х центровых овалов

Наиболее сложной плоской фигурой для вычерчивания в аксонометрии является эллипс, в который проецируется окружность, но так как построение эллипса достаточно трудоемко (см. рисунок 1.8), его заменяют четырехцентровым овалом.

Далее рассматриваются различные способы построения овалов для прямоугольной изометрической проекции.

На рисунке 1 показан графический способ определения большой и малой осей овала. Сначала вычерчиваем окружность, заданного диаметра и соединяем точки 1 и 2. Отрезок 1–2 – малая ось эллипса. Из точек 1 и 2, как из центров, описываем дуги радиусом 1–2 до их взаимного пересечения. Отрезок 3–4 – большая ось эллипса.

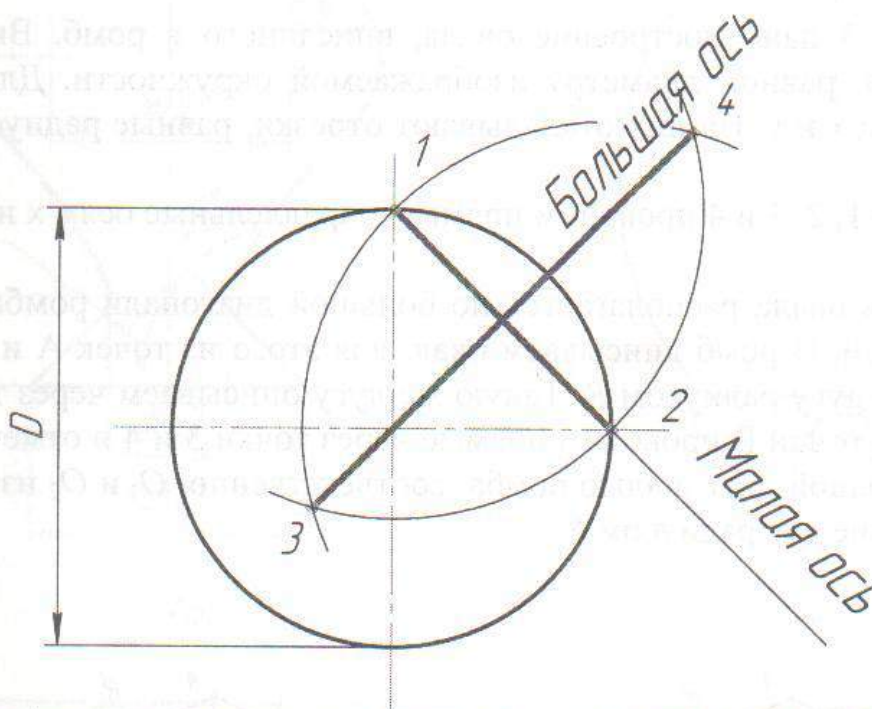


Рисунок 1 – Графическое определение величины большой и малой осей 4-х центрового овала

Рассмотрим один из наиболее распространенных способов построения четырехцентрового овала. Установив направление большой и малой осей овала в зависимости от того, какой координатной плоскости принадлежит данная окружность, по их размерам (большая ось – $1,22D$ и малая – $0,7D$), проводят две концентрических окружности, в пересечении которых с осями намечаются точки 1, 2, 3, 4, являющиеся центрами дуг овала, заменяющего эллипс. Для определения точек сопряжения проводят линии центров, соединяя 1, 2, с 3, 4 (рисунок 2, б). Из полученных центров 1, 2, 3, 4 проводят дуги радиусами R и R_1 (рисунок 2, в). Размеры радиусов видны из чертежа.

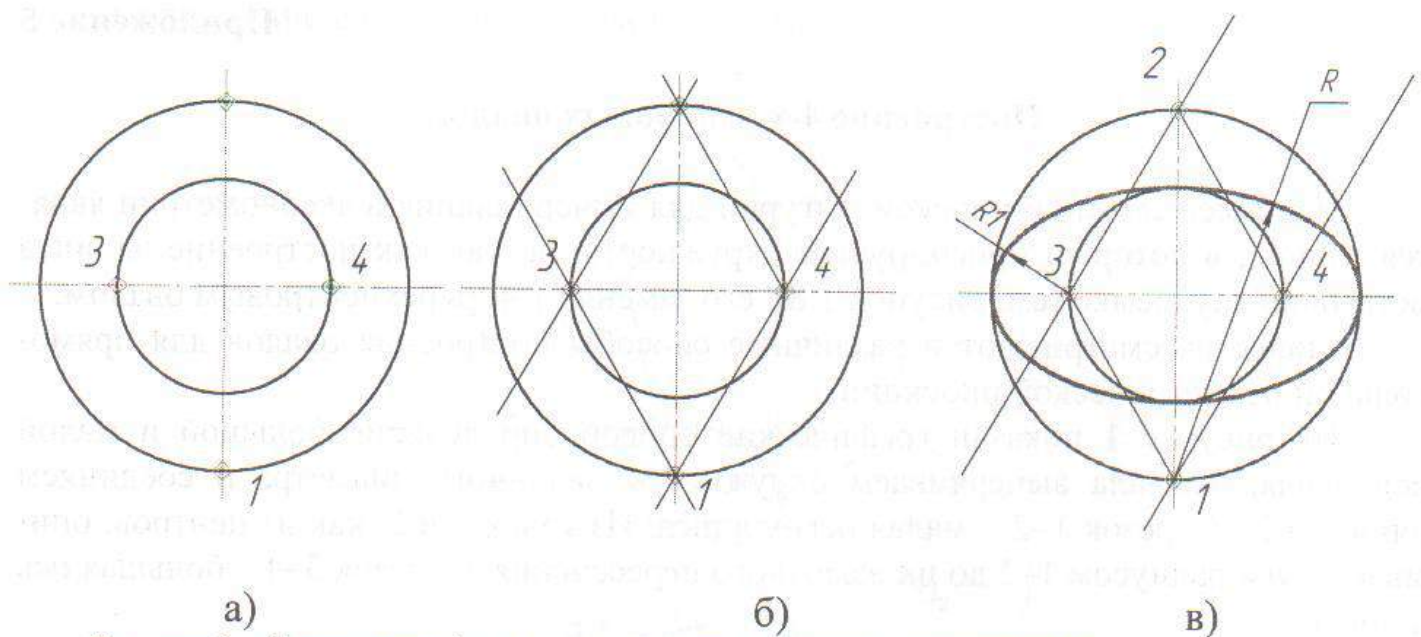


Рисунок 2 – Построение 4-х центрового овала по методу концентрических окружностей

На рисунке 3 дано построение овала, вписанного в ромб. Вначале строят ромб, со стороной, равной диаметру изображаемой окружности. Для этого через точку O строят оси x и y . На них откладывают отрезки, равные радиусу изображаемой окружности.

Через точки 1, 2, 3 и 4 проводим прямые, параллельные осям x и y – получаем ромб.

Большая ось овала располагается по большой диагонали ромба, малая ось – по малой диагонали. В ромб вписываем овал, для этого из точек A и B описываем через точки 3 и 4 дугу радиусом R . Такую же дугу описываем через точки 1 и 2 из центра A , затем из точки B проводим прямые через точки 3 и 4 и отмечаем точки их пересечения с большой диагональю ромба, соответственно, O_1 и O_2 из которых производим сопряжение дуг радиусом R .

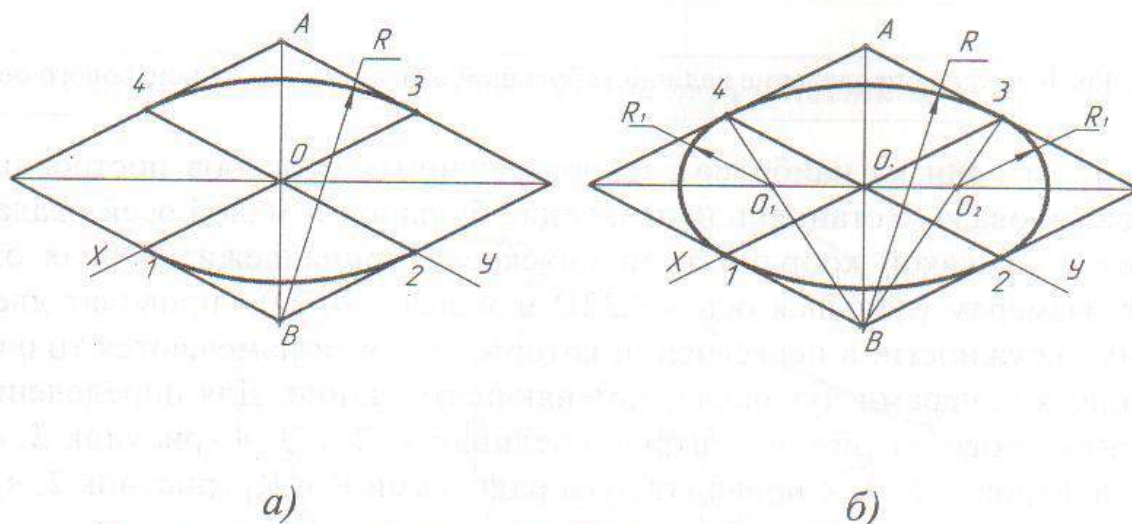


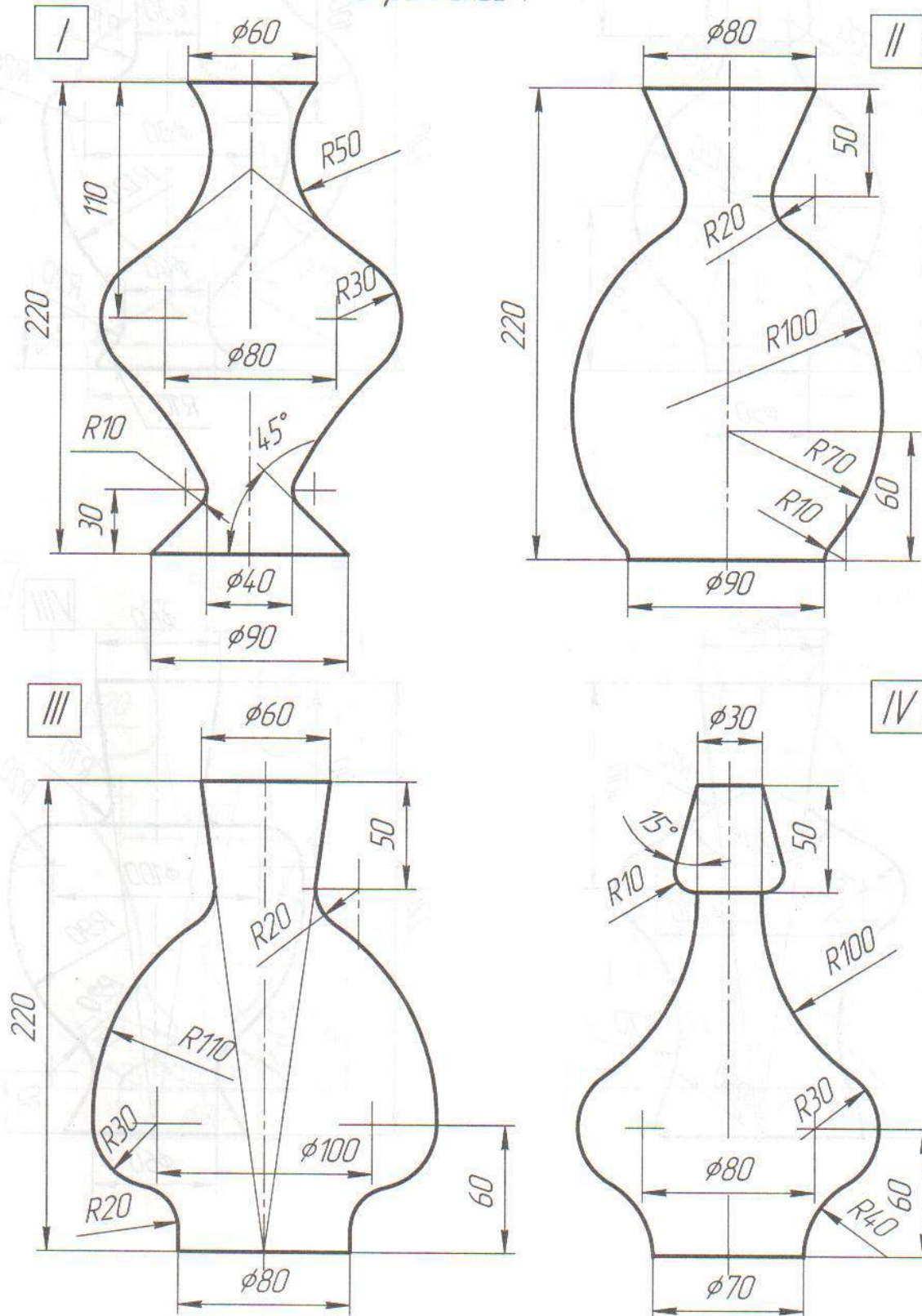
Рисунок 3 – Построение 4-х центрового овала, вписанного в ромб

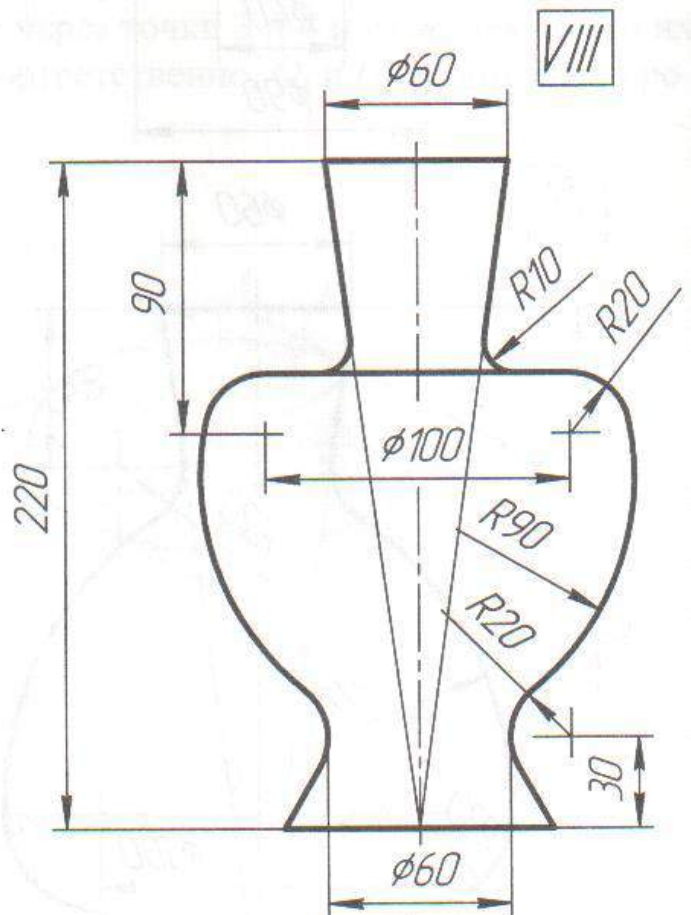
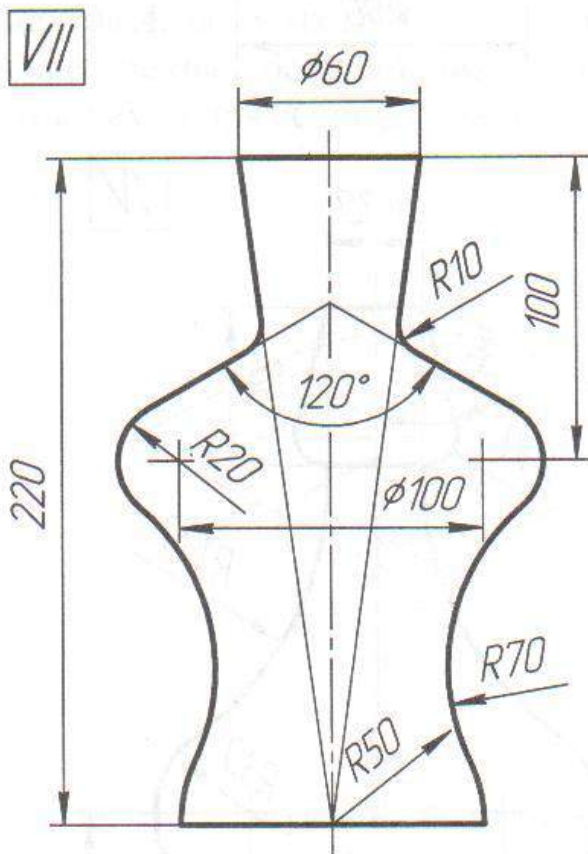
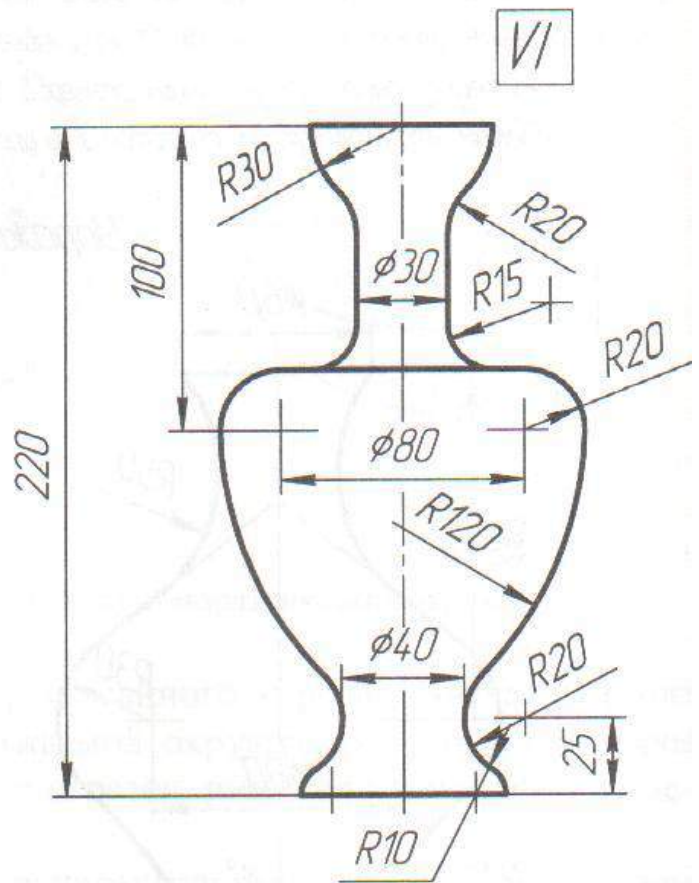
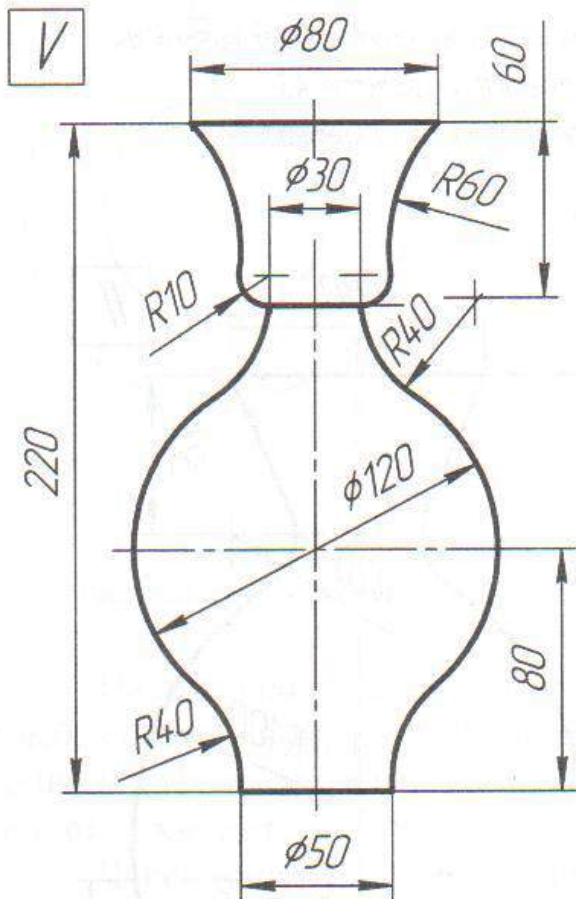
Упражнения на построение сопряжений

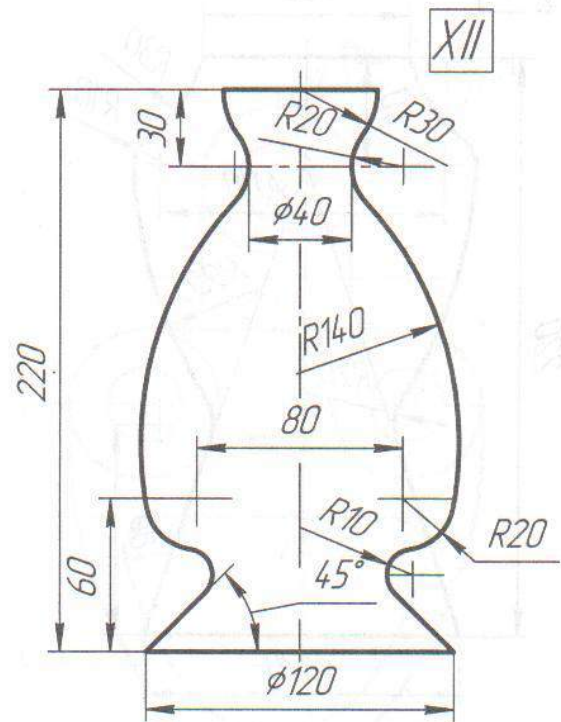
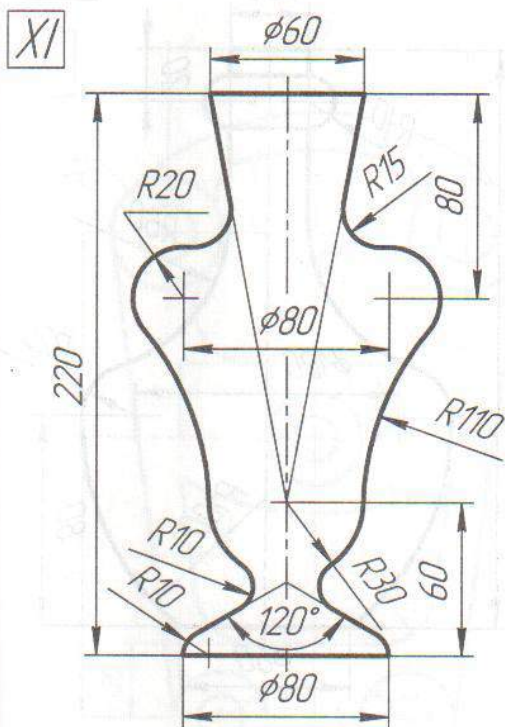
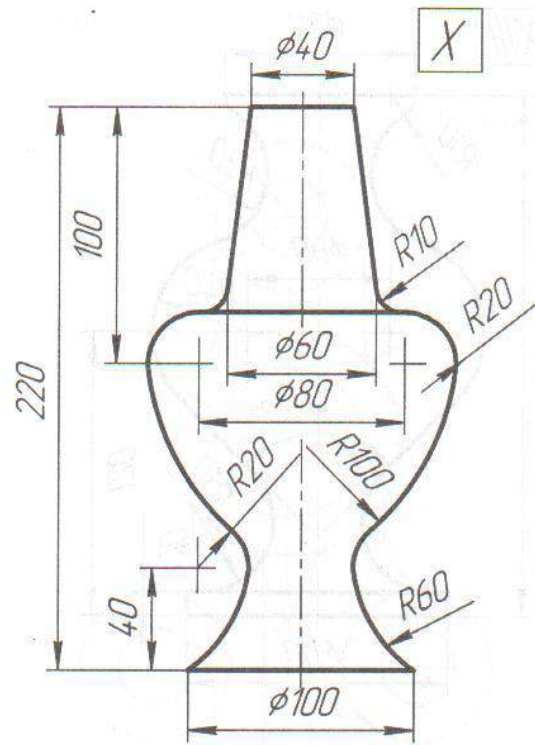
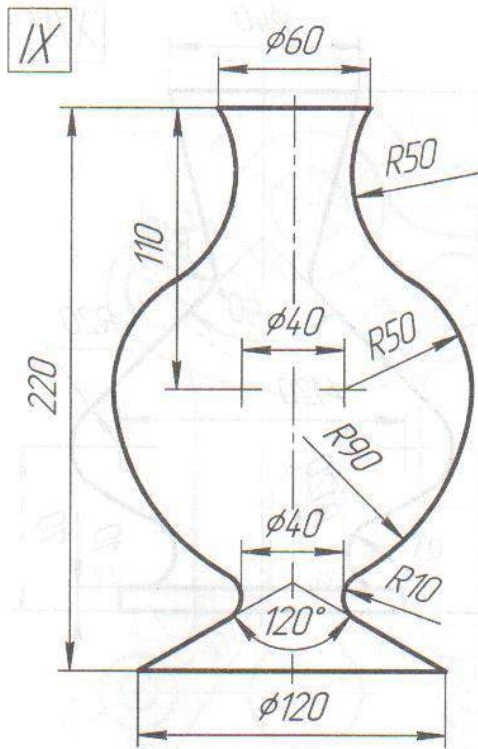
Упражнение предусматривает построение контура вазы на базе сопряжений (фронтальную проекцию) по заданным размерам в масштабе 1:1 или главного вида детали на базе сопряжения линий (прямых и окружностей) с нанесением указанных размеров. Упражнение выполняется на формате А3.

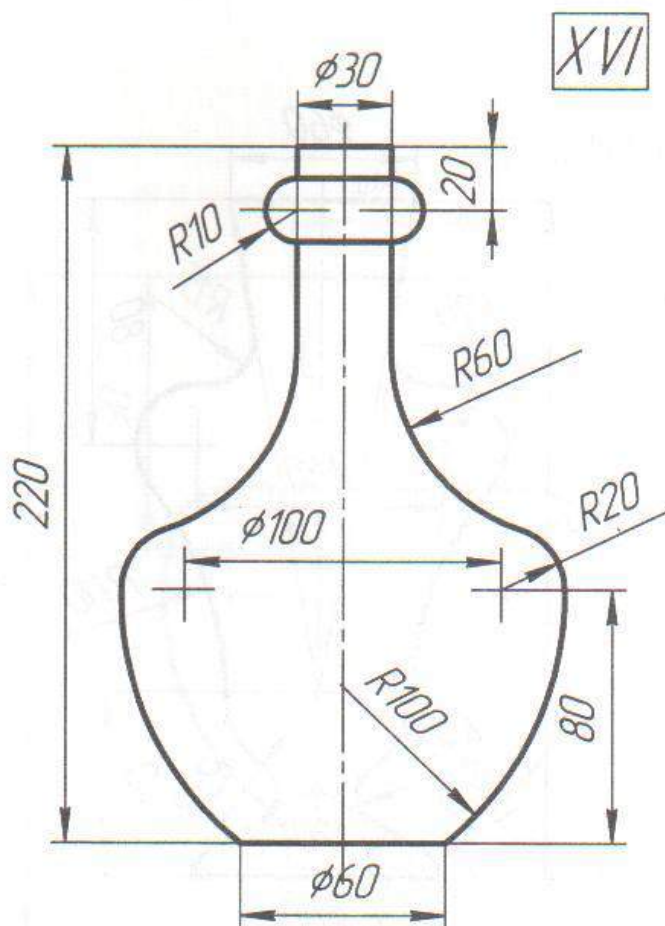
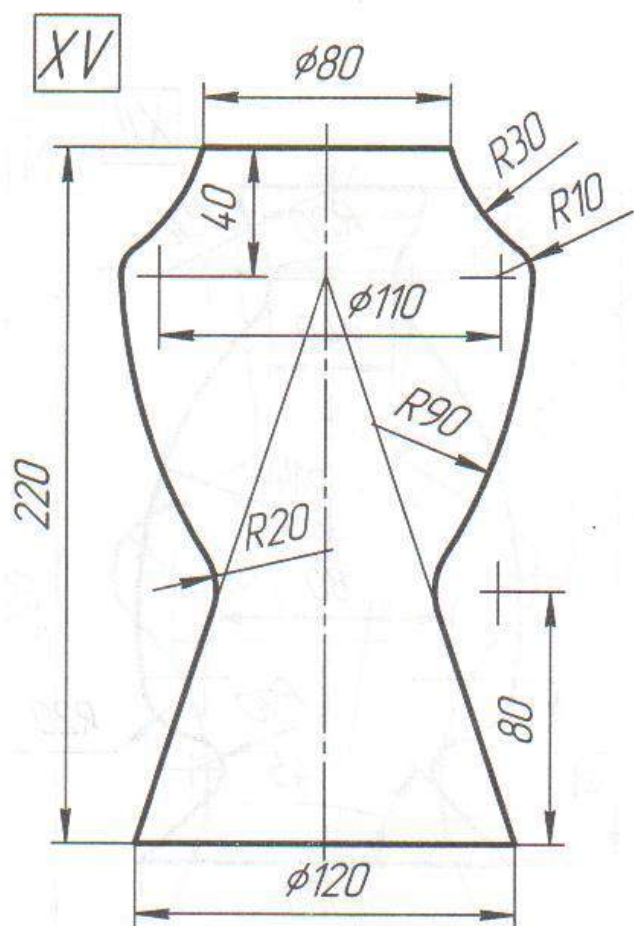
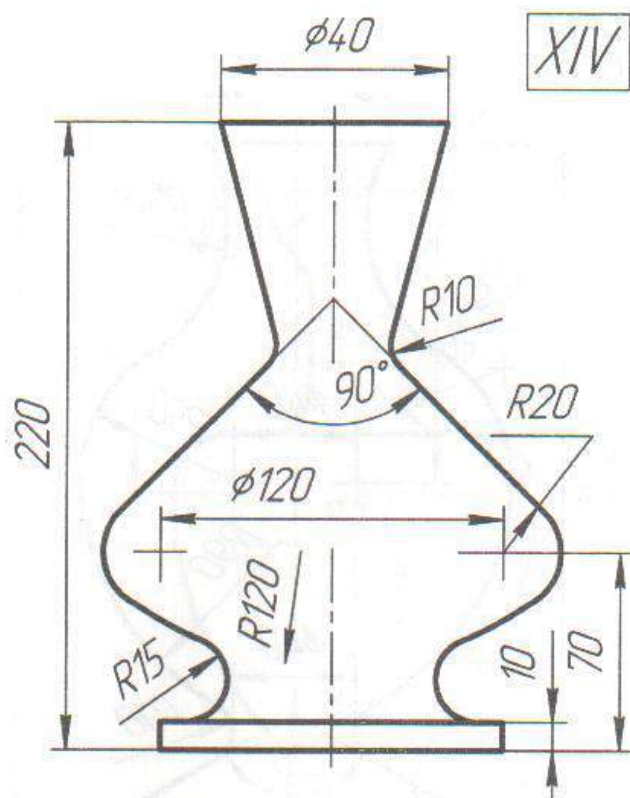
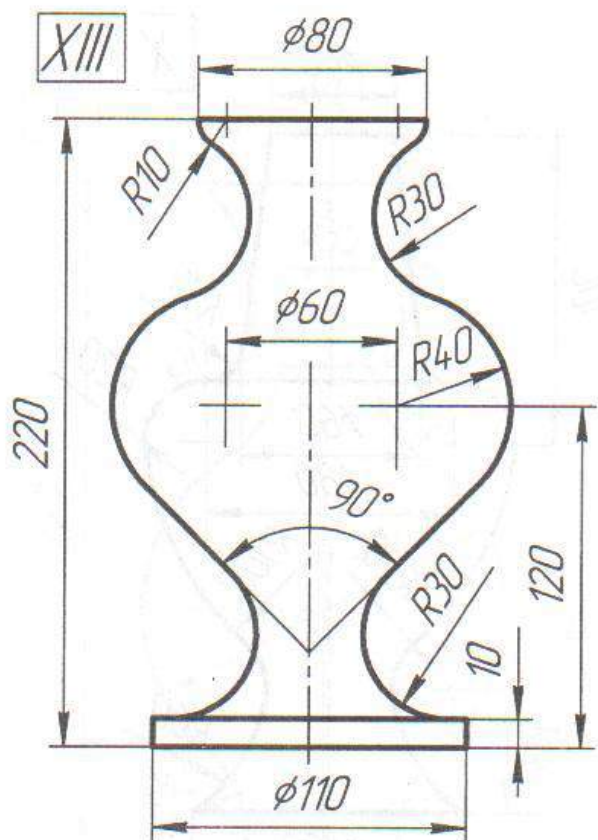
Заметим, что в следующем семестре это упражнение будет выполняться на компьютере.

Упражнение 1

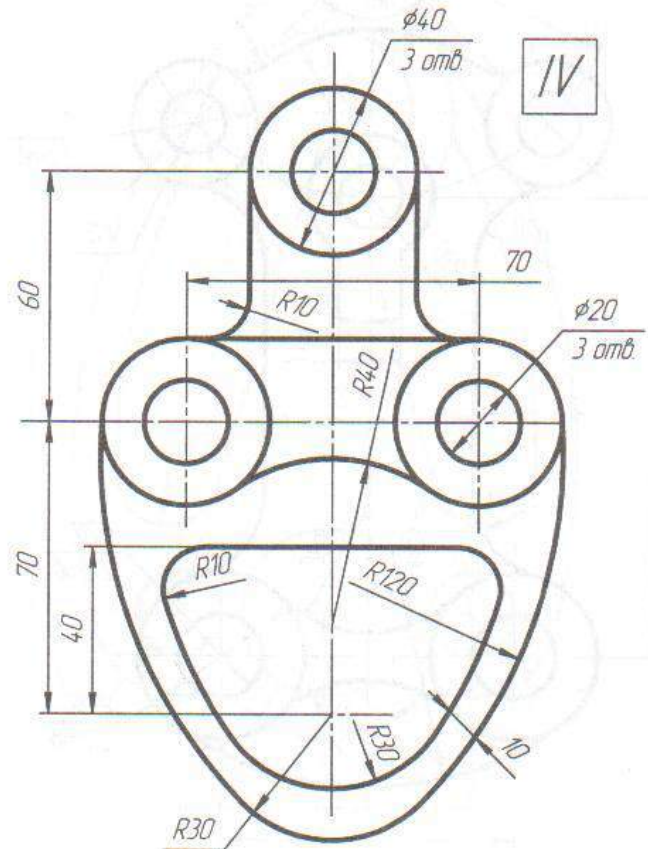
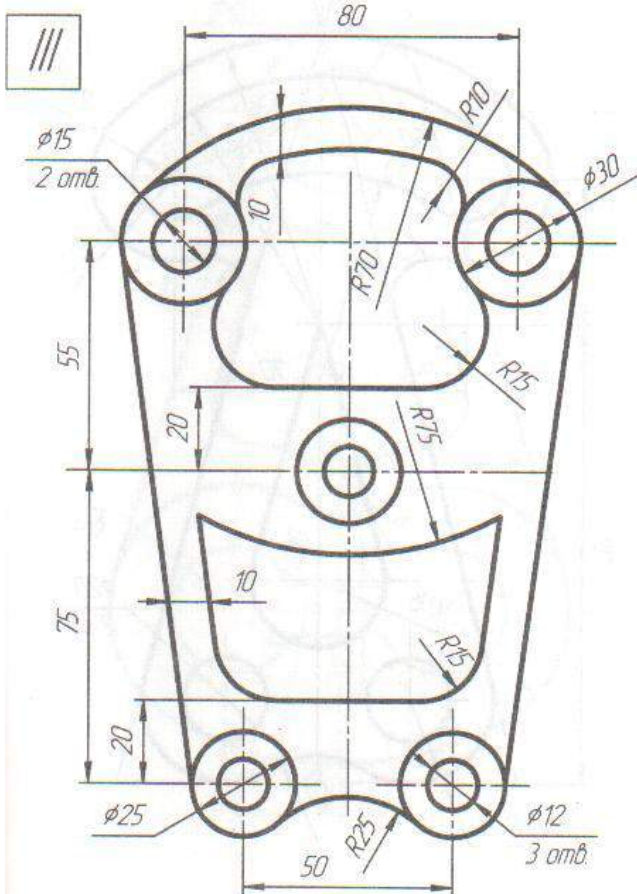
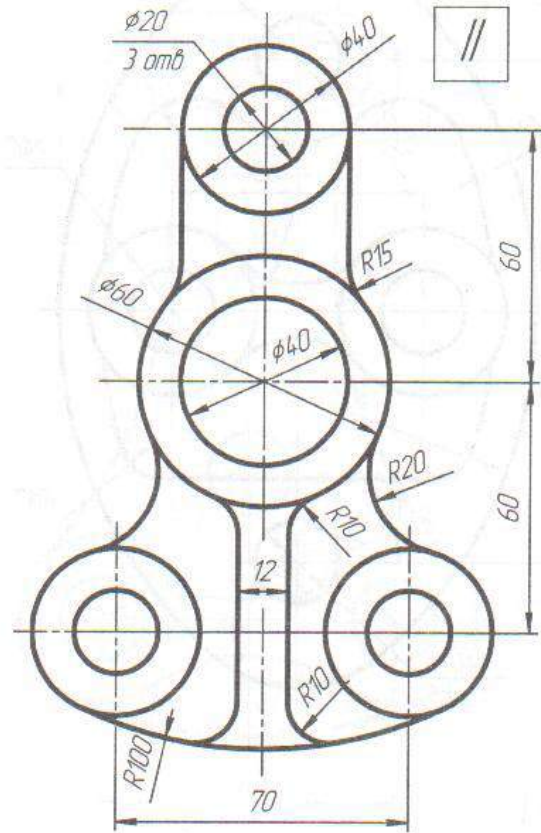
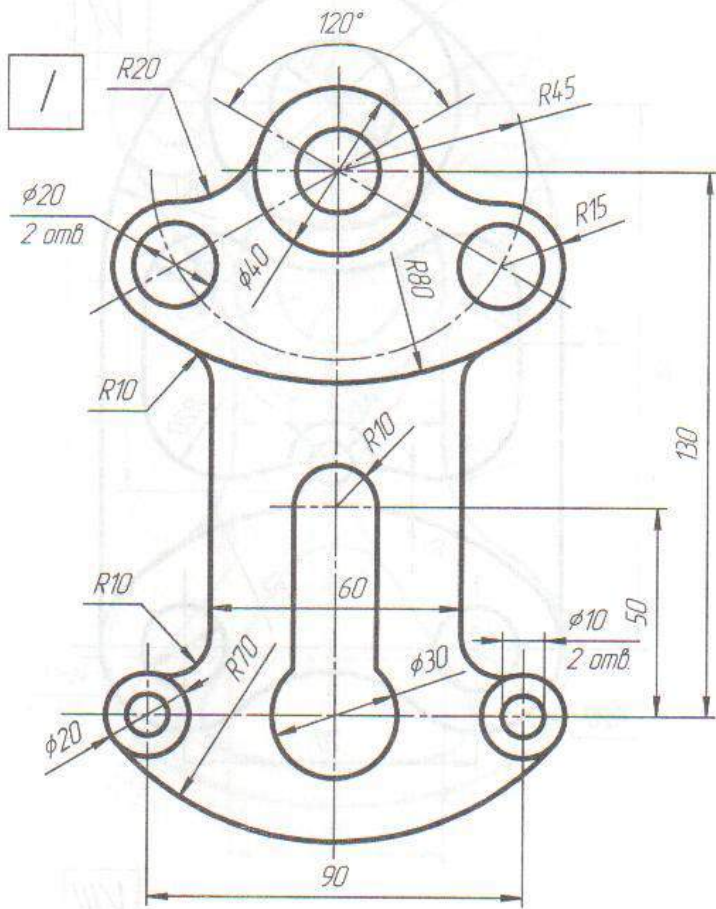


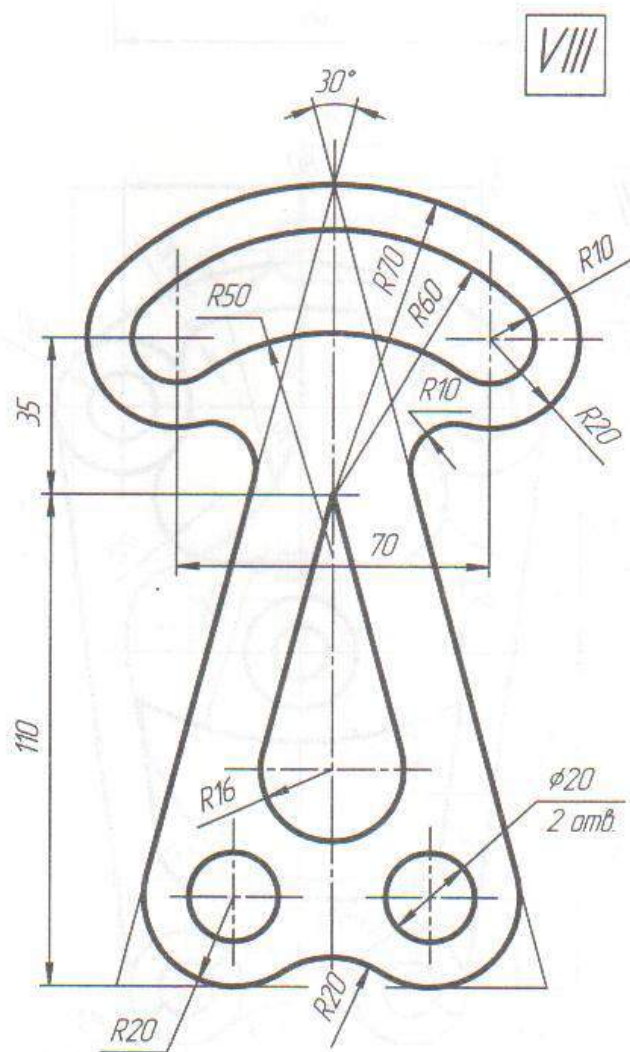
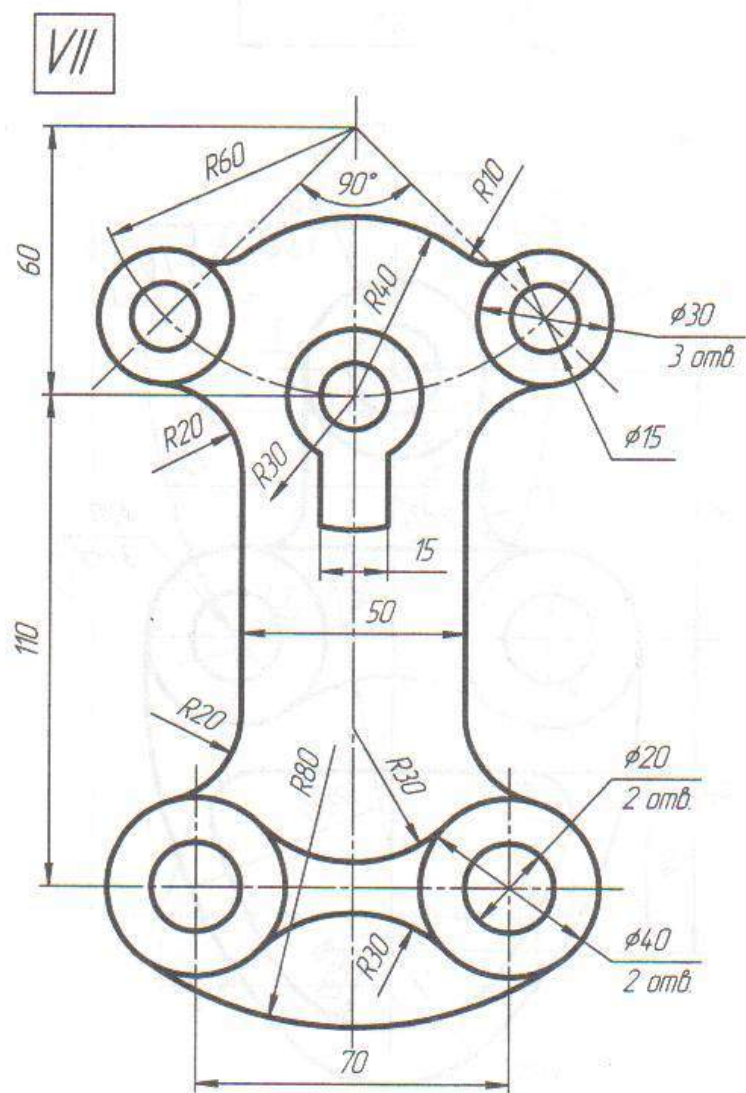
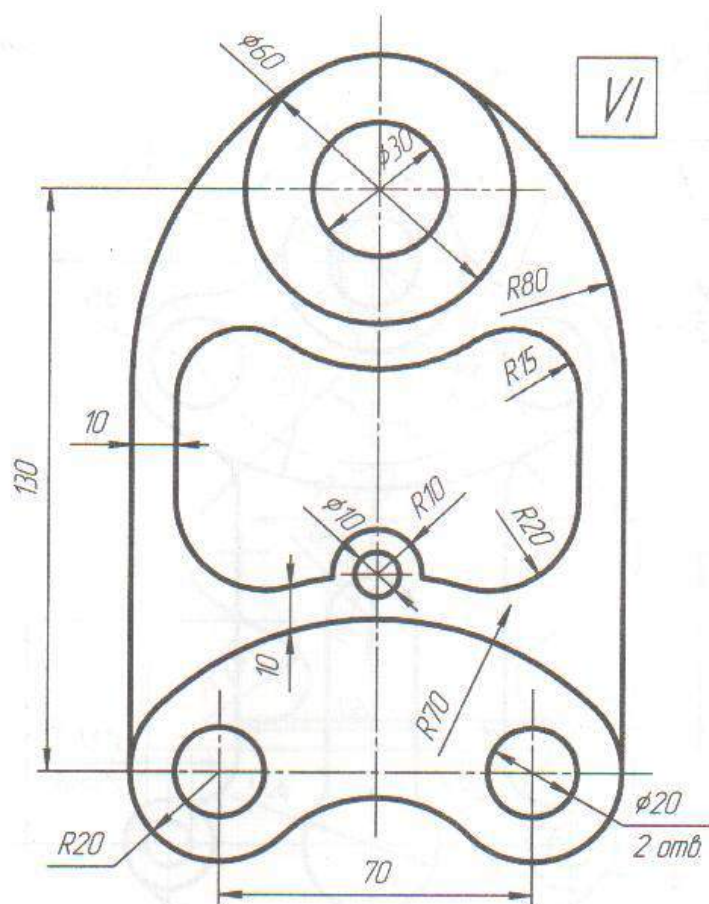
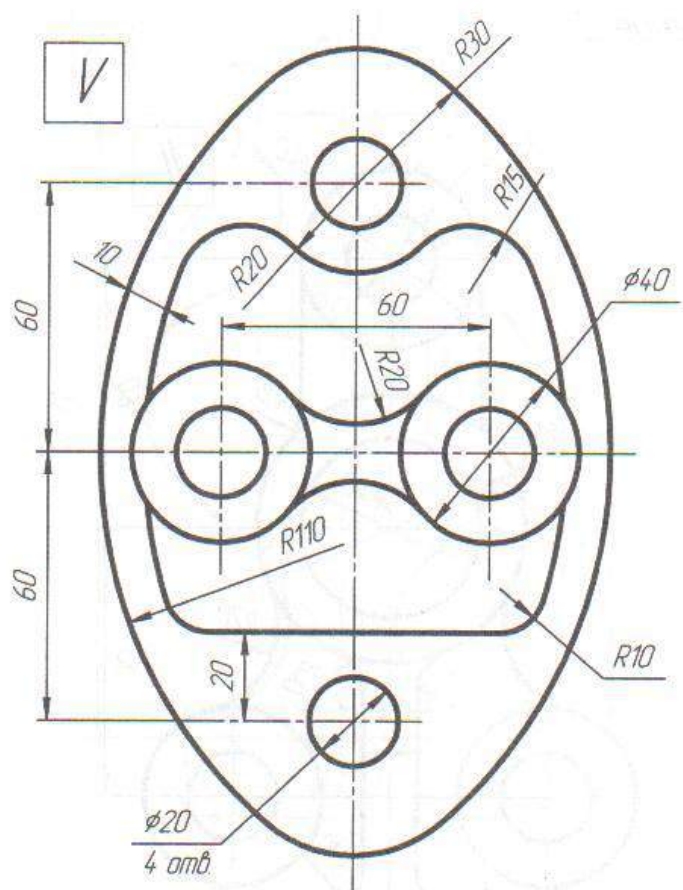


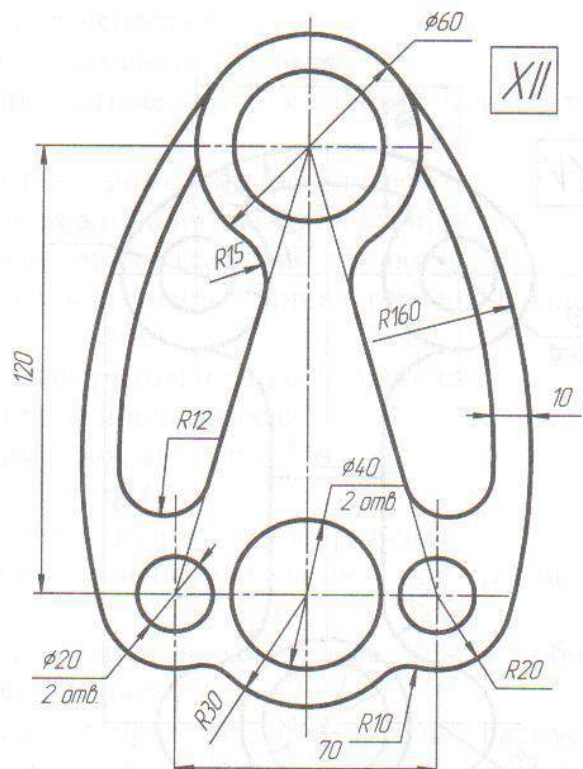
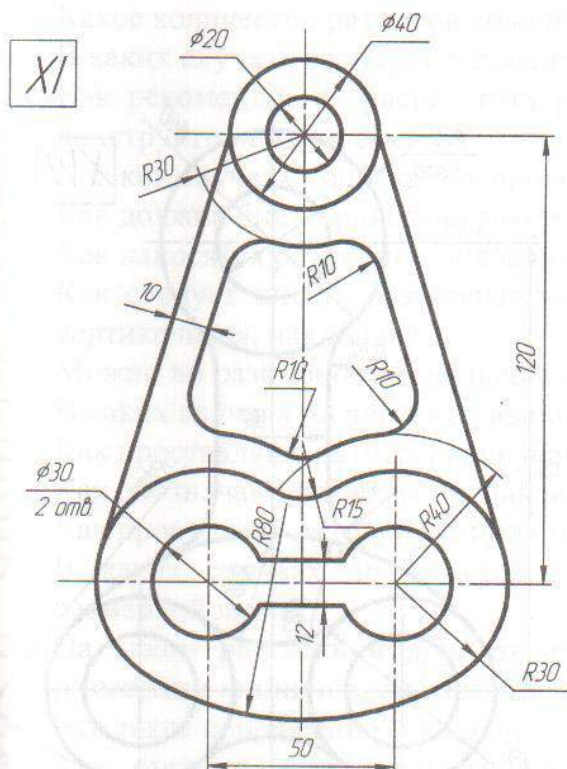
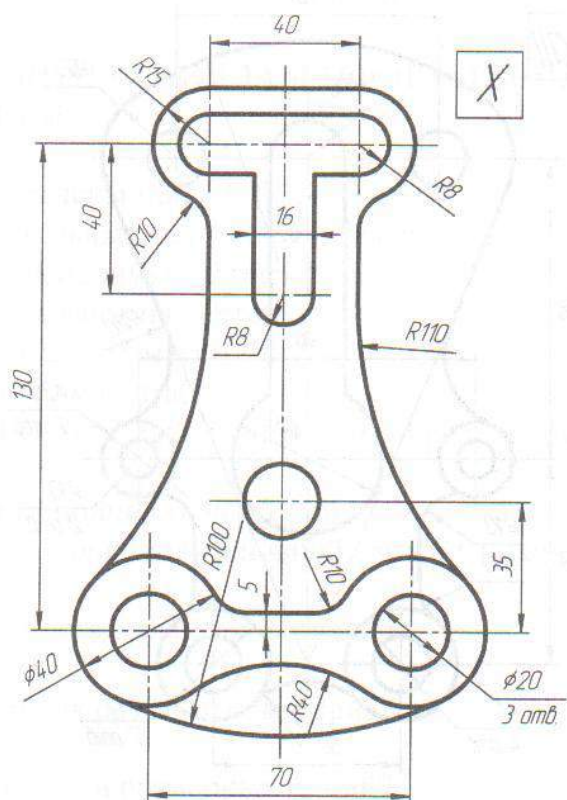
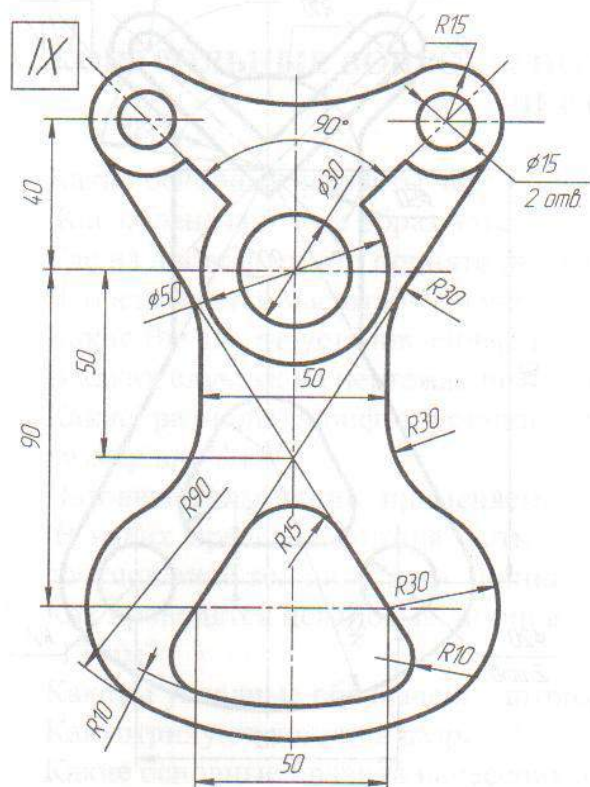


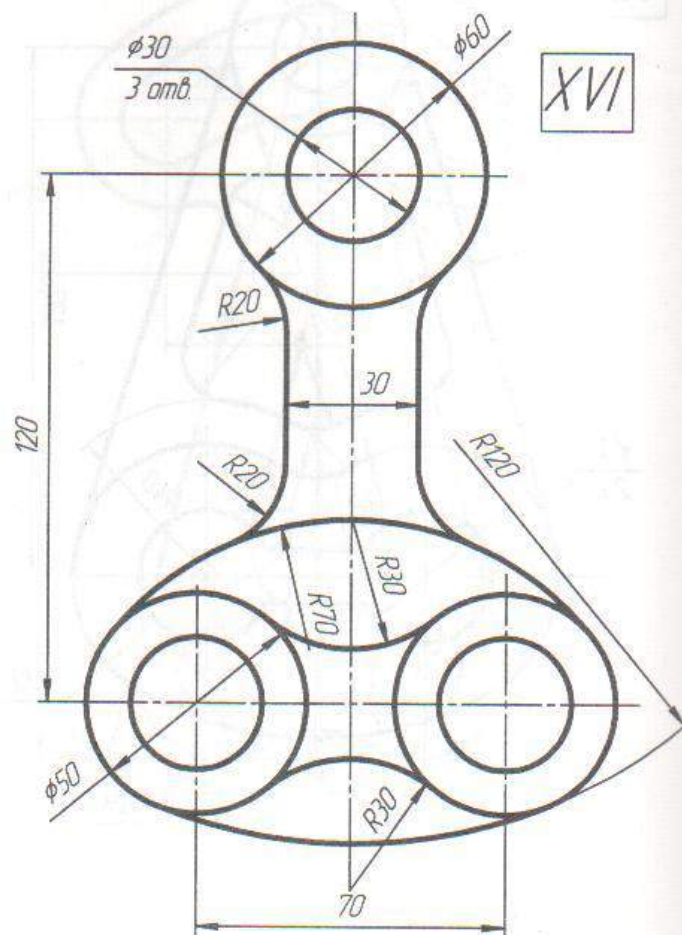
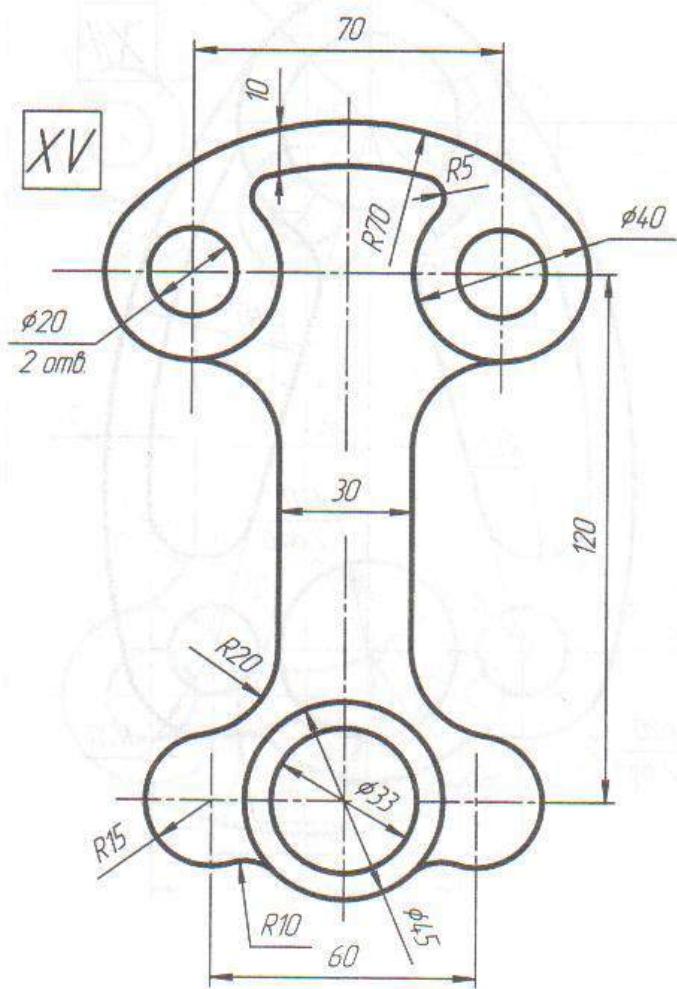
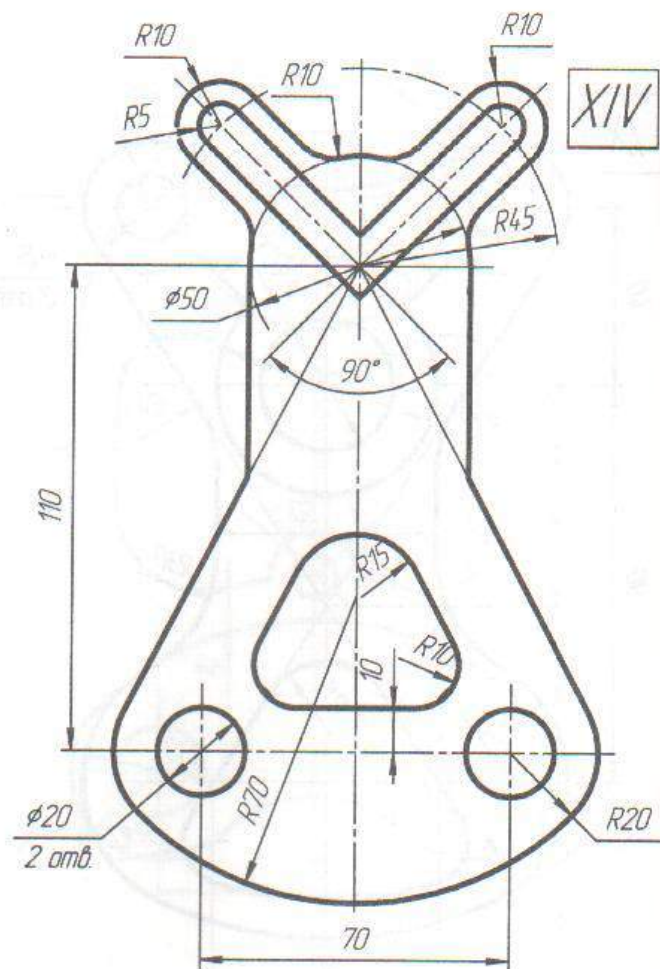
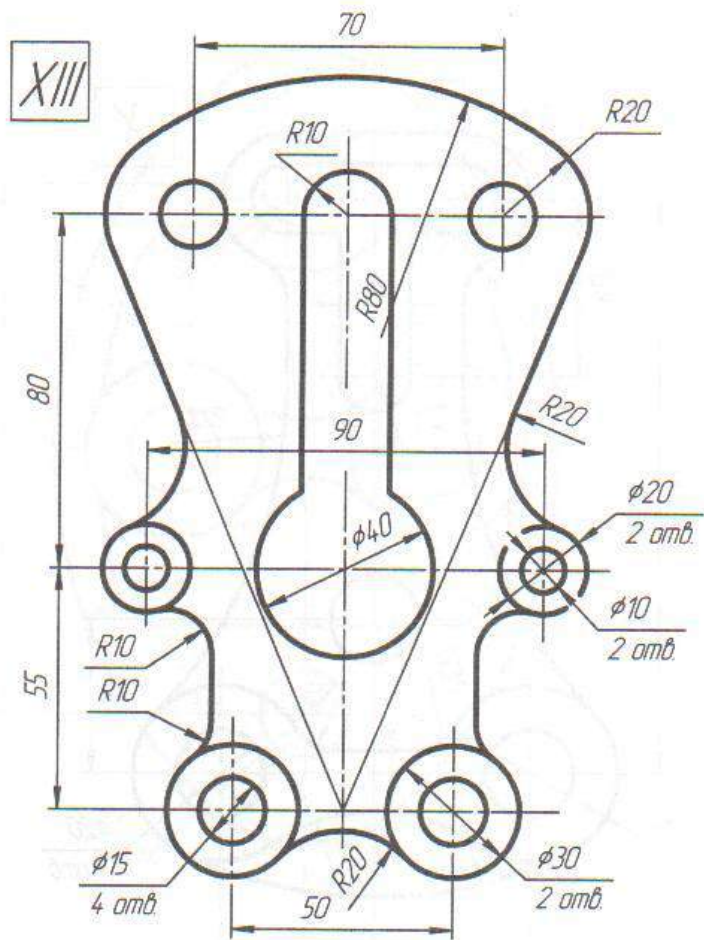


Упражнение 2









КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ОБЩИМ ПРАВИЛАМ ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

- 1 Какие основные форматы чертежей установлены по ГОСТ 2.301 – 68?
- 2 Как обозначаются и образуются дополнительные форматы чертежей?
- 3 Где на листе формата принято размещать основную надпись?
- 4 Что называется масштабом и как его записывают на чертежах?
- 5 Какие Вы знаете установленные ГОСТ 2.302 – 68 масштабы?
- 6 В каких случаях на чертежах не указывается масштаб?
- 7 Какие размеры шрифта установлены ГОСТ 2.304 – 68? Чем определяется размер шрифта?
- 8 Назовите типы линий, применяемых при выполнении чертежей.
- 9 В каких пределах должна быть толщина сплошной основной линии? Каково соотношение толщин других линий?
- 10 Как проводятся центровые линии в окружностях диаметром меньше 12 мм?
- 11 Каковы условные обозначения штриховки для различных материалов?
- 12 Как штрихуют детали в разрезе?
- 13 Какие основные правила нанесения выносных и размерных линий?
- 14 Каково соотношение элементов размерной стрелки?
- 15 В каких единицах выражают размеры на машиностроительных чертежах?
- 16 Какое количество размеров должно быть на чертеже?
- 17 В каких случаях размерные стрелки можно заменять точками?
- 18 Как рекомендуется располагать размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу?
- 19 В каких случаях допускается проводить размерные линии с отрывом?
- 20 Как должна быть проведена размерная линия при обозначении дуги, угла?
- 21 Как наносятся размерные числа по отношению к размерным линиям?
- 22 Как следует писать размерные числа, если размерная линия горизонтальная, вертикальная, наклонная?
- 23 Можно ли размерное число наносить на заштрихованную поверхность?
- 24 В каких случаях на чертежах выполняется надпись «сфера»?
- 25 Как проставляют размеры радиусов, диаметров, квадратов?
- 26 Как обозначают размеры одинаковых элементов?
- 27 Как проводится размерная линия при наличии разрыва в изображении?
- 28 В каких случаях допускается проведение выносных линий под углом к размерной линии?
- 29 На каком расстоянии друг от друга наносятся параллельные между собой размерные линии и расположение размерных чисел на них?
- 30 Что такое сопряжение? Основные элементы сопряжений (центр, точки, радиус).
- 31 Как определяются радиусы сопряжения дуг окружностей при внешнем, внутреннем и комбинированном сопряжениях?

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов, В.Н. Начертательная геометрия : учебник / В.Н. Виноградов. – 3-е изд. перераб. и доп. – Минск : Амалфея, 2001. – 368 с.
2. Гордон, В.О. Курс начертательной геометрии : учеб. пособие для втузов / В.О. Гордон, М.А. Семенцов-Огиевский. – 26-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2004. – 272 с.
3. Чекмарев, А.А. Начертательная геометрия и черчение / А.А. Чекмарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Владос, 2005. – 471 с.
4. Шабека, Л.С. Начертательная геометрия : учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей / Л.С. Шабека. – Минск: БГПА, 1991. – 92 с.
5. Шабека, Л.С. Индивидуальные задания и методические указания по курсу «Начертательная геометрия и черчение» для студентов машиностроительных специальностей. В 2-х ч. Ч. 1. Основы построения изображений на чертежах / Л.С. Шабека, М.К. Белоусова. – Минск : БПИ, 1980. – 60 с.
6. Шабека, Л.С. Задания и методические указания к практическим занятиям по курсу «Начертательная геометрия и черчение» для студентов машиностроительных специальностей. В 2-х ч. Ч. 2. Позиционные и метрические задачи / Л.С. Шабека. – Минск : БПИ, 1981. – 68 с.
7. Шабека, Л.С. Технические формы. Задачи для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Начертательная геометрия. Инженерная графика» / Л.С. Шабека, Е.И. Белякова. – Минск : БПИ, 1990. – 72 с.
8. L. Chabéka, K Cisse Géométrie Descriptive. Partie I – Base du dessin technique. Conakry: Université de Conakry 2003. – 63 p.
9. Шабека, Л.С. Многогранники. Тела вращения. Учебные модули по дисциплине «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» / Л.С. Шабека. – Минск : БГАТУ, 2006 – 20 с.
10. Шабека, Л.С. Пересечение поверхностей. Изображения на чертежах. Учебный модуль по дисциплине «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика» / Л.С. Шабека. – Минск : БГАТУ, 2006 – 21 с.
11. Шабека, Л.С. Задания и методические указания по курсу «Начертательная геометрия и черчение» для студентов машиностроительных специальностей. Ч. 3. Машиностроительное черчение / Л.С. Шабека [и др.]. – Минск : БПИ, 1985 – 50 с.
12. Ярошевич, О.В. Инженерная графика : рабочая тетрадь / О.В. Ярошевич. – Минск : БГАТУ, 2008 – 104 с.

Шабека Леонид Степанович
Мулярова Ольга Викторовна
Галенюк Галина Анатольевна
Зеленовская Наталья Вячеславовна

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

Учебно-методический комплекс

В трех частях

Часть 1

Основы проекционного комплексного чертежа

Ответственный за выпуск *О.В. Ярошевич*
Корректурa *М.А. Макрецькая*

Издано в редакции авторов

Подписано в печать 20.03.2009 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 19,2. Уч.-изд. л. 10,15. Тираж 500 экз. Заказ 184.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный аграрный технический университет
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.
Пр-т Независимости, 99, к. 2, 220023, г. Минск.